



TUGAS AKHIR - TF 141581

***ANALISIS OPTICAL POWER BUDGET DAN
RISE TIME BUDGET PADA JARINGAN
FIBER TO THE HOME BERBASIS PASSIVE
OPTICAL NETWORK***

MIRZA RAHMANSYAH
NRP. 2413 100 119

Dosen Pembimbing :
Ir. Apriani Kusumawardani, M.Sc.
Ir. Heru Setijono, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

***ANALYSIS OF OPTICAL POWER BUDGET AND
RISE-TIME BUDGET ON FIBER TO THE
HOME BASED ON PASSIVE OPTICAL
NETWORK***

MIRZA RAHMANSYAH
NRP. 2413 100 119

Supervisors :
Ir. Apriani Kusumawardani, M.Sc.
Ir. Heru Setijono, M.Sc.

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017***

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mirza Rahmansyah
NRP : 2413100119
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "*Analisis Optical Power Budget dan Rise-time Budget pada jaringan Fiber to The Home (FTTH) berbasis Passive Optical Network (PON)*" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sangsi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 28 Mei 2017
Yang membuat pernyataan,



Mirza Rahmansyah
NRP. 2413100119

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *OPTICAL POWER BUDGET* DAN *RISE-TIME BUDGET* PADA JARINGAN FIBER TO THE HOME (FTTH) BERBASIS *PASSIVE OPTICAL NETWORK* (PON)

TUGAS AKHIR

Oleh :

Mirza Rahmansyah

NRP : 2413100119

Surabaya, Juli 2017
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Ir. Apriani Kusumawardani, M.Sc
NIP. 19530404 19701 2 001

Pembimbing II



Ir. Heru Setijono, M.Sc

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

NIP. 197809022003121002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *OPTICAL POWER BUDGET* DAN *RISE-TIME BUDGET* PADA JARINGAN *FIBER TO THE HOME (FTTH)* BERBASIS *PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi fotonika
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MIRZA RAHMANSYAH

NRP. 2413100119

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Apriani Kusumawardani, M.Sc(Pembimbing I)
2. Ir. Heru Setijono, M.Sc(Pembimbing II)
3. Agus Muhamad Hatta, ST, M.Si, Ph.D(Ketua Penguji)
4. Prof. Dr . Ir. Sekartedjo, M.Sc(Penguji I)
5. Arief Abdurrahman, ST,MT(Penguji II)

**SURABAYA
JULI, 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS *OPTICAL POWER BUDGET* DAN *RISE TIME*
BUDGET PADA JARINGAN *FIBER TO THE HOME*
BERBASIS *PASSIVE OPTICAL NETWORK***

Nama : Mirza Rahmansyah
NRP : 2413 100 119
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Apriani Kusumawardani, M.Sc.
2. Ir. Heru Setijono, M.Sc.

Abstrak

Jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) merupakan solusi dari jaringan yang dapat mentransmisikan data ke rumah pelanggan dengan kapasitas yang besar. Untuk mengetahui performansi jaringan FTTH telah dilakukan analisis *Optical Power Budget* dan *Rise-time Budget* terhadap tiga pelanggan sebagai obyek pengukuran. Jaringan FTTH terdiri dari dua perangkat aktif yaitu *Optical Line Termination* dan *Optical Network Termination* serta beberapa perangkat pendukung pasif yang disebut *Optical Distribution Network*. Beberapa parameter yang dianalisis pada jaringan FTTH terkait dengan *Optical Power Budget* adalah alokasi loss yang digunakan ketika daya sumber yang ditransmisikan melewati fiber optik dan beberapa komponen pasif. Untuk parameter terkait dengan *Rise-time Budget* dibutuhkan nilai *rise-time* dari sistem secara keseluruhan untuk menentukan waktu respon sistem menuju sinyal masukan mulai dari 10-90%. Dari analisis yang telah dilakukan terkait dengan parameter *Optical Power Budget* didapatkan performansi yang bagus pada jaringan pelanggan 01 dan performansi yang tidak bagus pada jaringan pelanggan 02 dan pelanggan 03. Untuk parameter yang terkait *Rise-time Budget* didapatkan nilai *rise-time* sistem sebesar 0,1 ns untuk masing-masing pelanggan sehingga dengan nilai *rise-time* sistem tersebut mampu mencapai kapasitas *bandwidth* sebesar 7 Gbps.

Kata Kunci: *Optical Power Budget, Rise-time Budget, Fiber to The Home.*

“Halaman ini memang dikosongkan”

ANALYSIS OF OPTICAL POWER BUDGET AND RISE-TIME BUDGET ON FIBER TO THE HOME BASED ON PASSIVE OPTICAL NETWORK

Name : Mirza Rahmansyah
NRP : 2413 100 119
Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisors : 1. Ir. Apriani Kusumawardani, M.Sc.
2. Ir. Heru Setijono, M.Sc.

Abstract

Fiber to the Home Network (FTTH) is a networked solution that can transmit data to customers' homes with large capacity. To know the performance of FTTH network has done analysis of Optical Power Budget and Rise-time Budget to three customer as object of measurement. FTTH network consists of two active devices namely Optical Line Termination and Optical Network Termination and some passive support devices called Optical Distribution Network. Some parameters analyzed in FTTH networks related to Optical Power Budget are allocation loss used when power source is transmitted over fiber optics and some passive components. For the parameters associated with the Rise-time Budget it takes the rise-time value of the system as a whole to determine the system response time to input signals ranging from 10-90%. From the analysis that has been done related to Optical Power Budget parameter got good performance on customer 01 network and bad performance on 02 customer and customer 03 network. For Rise-time Budget related parameters obtained system rise-time value equal to 0,1 Ns for each customer so that with the rise-time value of the system is able to achieve the bandwidth capacity of 7 Gbps for each customer.

Keywords : Optical Power Budget, Rise-time Budget, Fiber to The Home

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul ***“ANALISIS OPTICAL POWER BUDGET DAN RISE TIME BUDGET PADA JARINGAN FIBER TO THE HOME BERBASIS PASSIVE OPTICAL NETWORK”***

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Ibu Ir. Apriani Kusumawardani, M.Sc dan Bapak Ir. Heru Setijono, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Kedua orang tua saya (Bapak Taufiqurrahman dan Ibu Enik Rahmaniawati) serta kedua adik saya (Amadeo dan Neysa). Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
4. Seluruh pihak dari PT.Telkom yang telah memfasilitasi saya dalam menyelesaikan tugas akhir saya.
5. Seluruh teman – teman Departemen Teknik Fisika angkatan 2013, terima kasih untuk semuanya.
6. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 13 Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Fiber Optik	5
2.2 Penggunaan Sistem Fiber Optik Dalam Sistem Komunikasi	7
2.3 Komponen Sistem Komunikasi Fiber Optik	13
2.4 Aplikasi Link Fiber Optik	16
2.5 Desain Jaringan <i>Fiber to The Home</i>	18
2.6 <i>Optical Link Power Budget</i>	24
2.7 <i>Rise-time Budget</i>	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Studi Literatur	28
3.2 Identifikasi Arsitektur Desain Jaringan <i>Fiber to The Home</i>	28
3.3 Pengukuran <i>Loss</i> Per Segmen	29
3.4 Analisis Menggunakan Metode <i>Optical Link Power Budget</i>	30
3.5 Analisis Menggunakan Metode <i>Rise-time Budget</i>	31
3.6 Analisis Data dan Pembuatan Kesimpulan	32
3.7 Pembuatan Laporan.....	32

BAB IV ANALISIS DATA dan PEMBAHASAN	33
4.1 Spesifikasi Jaringan <i>Fiber to The Home</i>	33
4.2 Hasil Pengukuran Berdasarkan <i>Optical Power Budget</i>	36
4.3 Analisis <i>Power Budget</i>	39
4.4 Analisis Perhitungan <i>Rise-time Budget</i>	43
4.5 Pembahasan.....	45
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN A.....	53
LAMPIRAN B.....	55
LAMPIRAN C.....	59
LAMPIRAN D.....	61
BIODATA PENULIS.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema ilustrasi serat optik (a) step-index serat (b) graded-index serat (Fang Zujie, 2012)	5
Gambar 2.2 Serat optik <i>singlemode step index</i> (Kao, 2009).....	6
Gambar 2.3 Serat optik <i>multimode step index</i> (Kao, 2009)	7
Gambar 2.4 Serat optik <i>multimode graded index</i> (Kao,2009)	7
Gambar 2.5 Peristiwa terjadinya distorsi (Keiser,2010)	11
Gambar 2.6 Permukaan konektor fiber didalam <i>fiber probe viewer</i> , (a) permukaan kotor konektor fiber dan (b) permukaan bersih konektor fiber (Boonchuan Ng, 2010).....	12
Gambar 2.7 Susunan Dasar Sistem Komunikasi Fiber Optik (Agrawal, 2002)	13
Gambar 2.8 Konsep dasar WDM (Keiser, 2010).....	14
Gambar 2.9 Konektor SC (a) dan ST (b) (Massa, 2000)	15
Gambar 2.10 Fusion splice (a) dan mechanical splice (b) (Keiser, 2010)	15
Gambar 2.11 Beberapa katagori jaringan (Keiser,2000)	17
Gambar 2.12 Karakteristik dari berbagai jenis bahan PIN <i>photodiode</i> (Keiser,2000).	20
Gambar 2.13 Perbandingan Responsivitas dan quantum effisiensi dengan fungsi panjang gelombang pada tiap jenis bahan PIN <i>photodiode</i> (Keiser,2000)	20
Gambar 2.14 PON architecture (M.Syuhaimi, 2011)	22
Gambar 2.15 Konfigurasi umum FTTH (Hantoro,2015).....	23
Gambar 2.16 Efek rise-time untuk sinyal NRZ dan sinyal RZ	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir	27
Gambar 4.1 Elemen dan Network FTTH.....	33

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan loss untuk panjang kabel 1 meter dan 2 km optical fiber untuk konektor yang bersih dan yang kotor (Boonchuan Ng, 2010)	12
Tabel 2.2 Perbandingan loss untuk panjang 2 km optical fiber dengan sumber modulasi yang berbeda (Boonchuan Ng, 2010).	13
Tabel 2.3 Spesifikasi <i>Fabry-perot laser diode</i>	18
Tabel 2.4 Karakteristik Serat Optik Singlemode tipe G.652D ...	19
Tabel 2.5 Spesifikasi <i>photodetector</i> PIN-1310-10LR-LC	21
Tabel 4.1 Spesifikasi Kebutuhan Jaringan FTTH.....	35
Tabel 4.2 Data Standard <i>Loss</i> per Komponen	36
Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran per Segmen	37
Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran per Segmen	38
Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran per Segmen	39
Tabel 4.6 Spesifikasi Perangkat Sistem.....	44
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai <i>Rise-Time</i>	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Passive Optical Network (PON) merupakan salah satu diantara beberapa arsitektur jaringan yang dapat digunakan pada *Fiber To The Home* (FTTH). PON pada awalnya digunakan dalam FTTH pada tahun 1986. FTTH berbasis PON saat ini merupakan pilihan utama yang banyak digunakan oleh *Network Service Providers* (NSPs), karena merupakan suatu terobosan penghalang dari segi ekonomi untuk solusi tradisional *Point-to-point* (P2P). FTTH berbasis PON memberikan solusi *point-to-multipoint* (P2MP) yang kuat untuk memenuhi meningkatnya permintaan akses di bagian dari infrastruktur komunikasi antara *Central Office* (CO) dan pelanggan (Skubic, 2009). PON juga dapat meminimalkan jumlah *transceiver* optik, memberi batasan pada *Central Office* (CO) dan penyebaran serat. FTTH berbasis PON merupakan jaringan optik P2MP tanpa unsur aktif dalam jalur sinyal dari sumber ke tujuan. Elemen yang digunakan dalam FTTH berbasis PON adalah komponen optik pasif, seperti fiber optik, sambungan dan *splitter*.

Sebuah jaringan FTTH berbasis PON menggunakan perangkat pasif yang artinya tidak membutuhkan daya dalam pengoperasiannya. FTTH berbasis PON mampu memberikan layanan - layanan seperti *triple-play* yang dapat mentransmisikan data, suara, dan gambar sekaligus hingga mencapai radius 20 km antara *Central Office* (CO) dan pelanggan. Semua transmisi dalam FTTH berbasis PON dijalankan melalui *Optical Line Terminal* (OLT) dan *Optical Network Units* (ONUs). Letak dari *Optical Line Terminal* (OLT) berada di *Central Office* (CO), sementara *Optical Network Units* (ONUs) terletak di bagian akhir dari *user* (mukherjee, 2006). Saat ini, jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) berbasis *Passive Optical Network* (PON) sangat umum digunakan karena dapat menawarkan solusi hemat biaya untuk memberikan akses optik dengan kapasitas yang besar.

Pengenalan FTTH berbasis PON memungkinkan jaringan untuk mengangkut data dengan jumlah kapasitas yang besar dan menyediakan layanan komunikasi yang memainkan peran sangat penting dalam banyak kegiatan sosial dan ekonomi kita sehari-hari. Dalam pengembangannya, jaringan optik akan memiliki kapasitas yang sangat besar dengan mentransmisikan sekitar 10 Gbps saluran tiap fiber. Kerusakan pada jaringan optik akan mengganggu sejumlah besar layanan yang berjalan *on-line*, sehingga faktor ketersediaan koneksi menjadi sangat penting.

Penyelesaian masalah atau *Troubleshooting* pada jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) berbasis *Passive Optical Network* (PON) menyangkut beberapa hal, diantaranya penemuan lokasi dan pengidentifikasian sumber masalah optik dalam suatu topologi jaringan optik yang kompleks yang meliputi *Optical Line Termination* (OLT), *splitter* optik, fiber optik dan *Optical Network Units* (ONUs). Sebagian besar masalah pada komponen dalam *Passive Optical Network* (PON) adalah karena kotor / kerusakan / patah / *macrobending* pada kabel fiber optik. Ini akan mempengaruhi terhadap satu, beberapa atau semua pelanggan pada jaringan, tergantung dari letak permasalahannya.

Jika fiber mengalami gangguan yang terjadi di wilayah feeder yaitu dari *Optical Line Termination* (OLT) hingga ke *splitter* optik, akan mempengaruhi semua sinyal *downstream* yang menuju ke *Optical Network Units* (ONUs). Namun, jika permasalahannya seperti *macrobending* atau konektor yang kotor menyebabkan daya optik akan hilang di suatu tempat dalam jaringan, tetapi hanya sejumlah *Optical Network Units* (ONUs) saja yang mungkin akan terpengaruh akan masalah tersebut. Atenuasi pada kabel fiber optik dikarenakan sebanding dengan panjangnya, maka jarak yang sangat jauh pada ONUs akan menerima sinyal *downstream* lebih lemah daripada jarak ONUs yang lebih dekat. Sinyal *downstream* yang diterima oleh CO dari ONUs yang jaraknya jauh, juga sangat lemah dan OLT akan mendeteksi seperti penurunan performansi .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menganalisis performansi jaringan *Fiber To The Home* berbasis *Passive Optical Network* dengan menggunakan metode *Optical Link Power Budget* ?
2. Bagaimana menganalisis performansi jaringan *Fiber To The Home* berbasis *Passive Optical Network* dengan menggunakan metode *Rise-time Budget* ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis performansi jaringan *Fiber To The Home* berbasis *Passive Optical Network* dengan menggunakan metode *Optical Link Power Budget*.
2. Menganalisis performansi jaringan *Fiber To The Home* berbasis *Passive Optical Network* dengan menggunakan metode *Rise-time Budget*.

1.4 Batasan Masalah

Bedasarkan identifikasi masalah maka batasan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian Tugas Akhir ini menyesuaikan dengan desain jaringan *Fiber To The Home* berbasis *Passive Optical Network* yang digunakan oleh PT. Telkom.
2. Untuk nilai standard redaman menyesuaikan dengan standard *International communication Union* (ITU).
3. Dalam perhitungan *loss* dilakukan terhadap fiber optik, *pathcore*, *dropcore*, konektor, *splices* dan *splitter*.
4. Semua komponen sistem komunikasi fiber optik yang diukur menyesuaikan dengan komponen-komponen yang telah terdaftar di standard PT.Telkom.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

a. **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan berkaitan dengan judul dari tugas akhir ini yaitu Analisis *Optical Power Budget* dan *Rise-time Budget* Pada Jaringan *Fiber to The Home* Berbasis *Passive Optical Network*.

b. **BAB II TEORI PENUNJANG**

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan pada tugas akhir ini, seperti teori tentang *Fiber to The Home* (FTTH), beberapa metode analisis yang akan digunakan seperti metode *optical power budget* dan *rise-time budget*, dsb .

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode yang digunakan dalam penelitian, dan langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian pada tugas akhir ini.

d. **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini berisi tentang spesifikasi jaringan *Fiber to the home* (FTTH), hasil pengukuran berdasarkan *Optical Power Budget* terhadap tiga sampel pelanggan, analisis menggunakan *Optical Power Budget* terhadap desain FTTH dan ketiga sampel pelanggan, analisis *Rise-time Budget*, serta pembahasan.

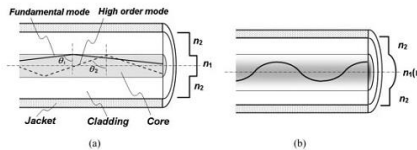
e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang hasil akhir dari tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fiber optik

Fiber optik adalah suatu material seperti benang dengan potongan melintang berbentuk lingkaran yang memungkinkan terjadinya *total internal reflection* (TIR) di dalamnya untuk memandu gelombang cahaya (Fang Zujie, 2012).



Gambar 2.1 Skema ilustrasi fiber optik (a) *step-index* fiber optik (b) *graded-index* fiber optik (Fang Zujie, 2012)

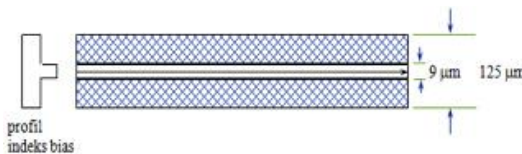
Fiber optik terdiri dari tiga bagian utama yaitu :

- *Core* atau inti adalah tempat terjadinya *total internal reflection* (TIR) yang biasanya terbuat dari silika dengan doping germanium oksida atau fosfor oksida dan indeks bias sekitar 1,5 serta jari-jari 8-200 μm .
- *Cladding* atau selimut adalah pembungkus *core*, agar cahaya yang merambat keluar dari *core* terpantul kembali ke dalam *core*. Sehingga tidak ada pulsa yang hilang di perjalanan. Jari-jari *cladding* lebih besar dibandingkan *core* dan indeks biasnya lebih kecil dibandingkan *core*.
- *Jacket* adalah pelindung *core* dan *cladding* dari gangguan luar yang terbuat dari bahan plastik.

Berdasarkan hukum Snellius cahaya merambat di dalam *core* akan terpantul dengan sempurna atau terjadi TIR apabila indeks bias *core* (n_1) yang merupakan medium asal lebih besar dari indeks bias *cladding* (n_2) yang merupakan medium tujuan, namun jika sudut datang cahaya lebih kecil dari sudut kritis (θ_c) maka cahaya akan dibiaskan keluar dari fiber optik,

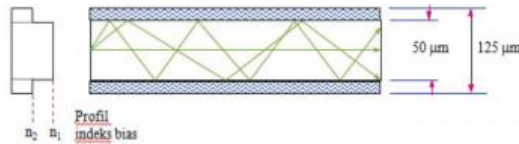
sehingga sudut datang berkas cahaya harus lebih besar daripada sudut kritisnya agar cahaya dipantulkan kembali ke dalam fiber optik (Fang Zujie, 2012).

Fiber optik dibedakan menjadi dua macam berdasarkan moda yang dirambatkan, yaitu *singlemode* dan *multimode*. Berdasarkan tipe perambatan sinar pada *core* fiber optik dibagi menjadi dua yaitu *step index* dan *graded index*. Fiber optik *singlemode* (SMF) memiliki diameter *core* antara yang sangat kecil dibandingkan dengan ukuran *cladding*. Cahaya yang merambat di dalam SMF ini hanya satu moda saja yang sejajar dengan sumbu fiber optik. SMF memiliki redaman yang sangat kecil, *bandwidth* yang lebar dibandingkan fiber optik *multimode*. Fiber optik *singlemode* di bawah ini sinar yang merambat di dalam *core*-nya bertipe *step index*.

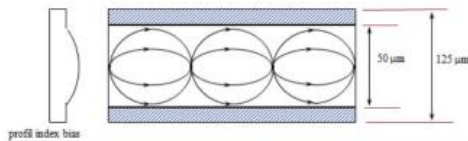


Gambar 2.2 Fiber optik *singlemode step index* (Kao, 2009).

Fiber optik *multimode* (MMF) memiliki diameter *core* yang lebih besar dibandingkan dengan fiber optik *singlemode*. Cahaya yang merambat di dalam MMF terdiri dari banyak moda. Moda-moda yang merambat di dalam MMF ini memiliki kecepatan yang berbeda-beda yang menghasilkan variasi *travel times*, sehingga pulsa cahaya mengalami pelebaran setelah melewati fiber optik, efek pelebaran pulsa ini disebut *modal dispersion* (Kao, 2009). MMF ini dimanfaatkan sebagai transmisi data dengan kecepatan rendah dan jarak dekat. Berikut adalah skema perambatan cahaya pada fiber optik *multimode step index* dan *multimode graded index*.



Gambar 2.3 Fiber optik *multimode step index* (Kao, 2009)



Gambar 2.4 Fiber optik *multimode graded index* (Kao, 2009)

2.2 Penggunaan Sistem Fiber Optik Dalam Sistem Komunikasi

Pengembangan sistem komunikasi dengan menggunakan fiber optik dimulai dengan penemuan laser pada awal 1960. Karakteristik operasional perangkat ini mendorong peneliti untuk meneliti spektrum optik sebagai pengembangan dari spektrum radio dan microwave untuk memberikan link transmisi dengan kapasitas yang sangat tinggi. Namun, juga tercatat bahwa fiber optik dapat memberikan beberapa keuntungan operasional melebihi dari kabel tembaga (Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010). Beberapa keuntungan tersebut adalah sebagai berikut :

- Long transmission distance.* Fiber optik memiliki *transmission loss* yang lebih rendah dibandingkan dengan kabel tembaga. Ini berarti bahwa data dapat dikirim melalui jarak yang lebih jauh, sehingga dapat mengurangi jumlah *intermediate repeater* yang diperlukan. Pengurangan peralatan dan komponen ini dapat menurunkan *cost* sistem dan kompleksitas.
- Large Information Capacity.* Fiber optik memiliki *bandwidth* yang lebih luas daripada kabel tembaga, yang

berarti bahwa akan lebih banyak informasi yang dapat dikirim melalui satu saluran atau *physicall line*. Properti ini dapat menyebabkan penurunan jumlah saluran atau *physicall lines* yang diperlukan untuk pengiriman sejumlah informasi.

- c. *Small size and low weight*. Berat yang ringan serta dimensi yang kecil dari fiber optik memberikan keuntungan lebih, yang berbeda jika dibandingkan dengan berat dari kabel kawat besar di saluran kota bawah tanah yang padat. Ini juga sangat penting diaplikasikan dalam pesawat, satelit, dan kapal, dimana kabel yang memiliki berat ringan dan dimensi yang kecil sangat memberi keuntungan.
- d. *Immunity to electrical interference*. Fitur yang sangat penting dari fiber optik berkaitan dengan fakta bahwa fiber optik terdiri dari bahan dielektrik, yang artinya tidak dapat menghantarkan listrik. Hal ini membuat fiber optik kebal terhadap efek interferensi elektromagnetik.

Komunikasi fiber optik dapat dicapai dengan mentransmisikan cahaya melalui kabel fiber optik. Kotor, debu, dan partikel lainnya pada fiber optik adalah penyebab utama dari masalah dalam jaringan fiber optik. Tipe *core* dari beberapa fiber optik meliputi 9 mikrometer untuk *singlemode* dan 62,5 mikrometer untuk *multimode*. Ini membuat kebersihan pada koneksi optik sangat diperlukan. Pada umumnya, beberapa hal yang dapat mengontaminasi diantaranya seperti debu, kotoran, minyak, dll. Dari beberapa faktor tersebut, ukurannya mungkin ada yang lebih besar dari 9 mikrometer dan dapat menyebabkan atenuasi atau benar-benar dapat memblokir sinyal optik seperti hanya kotoran yang menyebabkan atenuasi pada cahaya yang di transmisikan melalui jendela. Atenuasi adalah penurunan daya pada sinyal cahaya yang dipandu fiber optik. Besarnya atenuasi menentukan panjang maksimum transmisi dari suatu jaringan. Saat cahaya dipandu dalam fiber optik, daya cahaya berkurang secara eksponensial terhadap jarak.

Jika daya sinyal pada posisi awal adalah $P_{(0)}$ dan setelah menempuh jarak tertentu adalah $P_{(z)}$, maka (Keiser, 2010) :

$$P(z) = P(0)e^{-\alpha_p z} \quad (1)$$

Dimana :

$$\alpha_p = \frac{1}{z} \ln \left[\frac{P(0)}{P(z)} \right] \quad (2)$$

adalah koefisien atenuasi (km^{-1}). Untuk kemudahan perhitungan, α_p dinyatakan dalam dB/km melalui relasi :

$$\alpha \left(\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right) = \frac{10}{z} \log \left[\frac{P(0)}{P(z)} \right] = 4.343 \alpha_p (\text{km}^{-1}) \quad (3)$$

Tidak hanya pada fiber optik, satuan desibel digunakan untuk menunjukkan penurunan daya pada berbagai komponen optik. Definisi dari satuan desibel (dB) adalah rasio logaritmik dari daya pada dua posisi :

$$\text{power ratio (dB)} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (4)$$

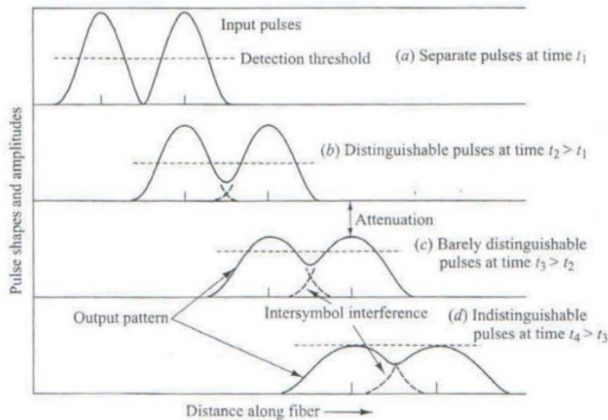
Jika dB menunjukkan perbandingan dengan satuan daya lain, maka untuk menunjukkan nilai absolut power, digunakan satuan dBm.

$$\text{power level (dBm)} = 10 \log \frac{P (\text{mW})}{1 (\text{mW})} \quad (5)$$

Penyebab atenuasi pada fiber optik adalah :

- a. Absorpsi, merupakan penyerapan daya cahaya oleh material fiber optik. Hal ini disebabkan oleh adanya kecacatan pada atom silika atau adanya atom impuritas. Absorpsi terjadi pada panjang gelombang tertentu dan berbeda pada tiap jenis material fiber optik.
- b. *Scattering* / hamburan, disebabkan oleh perbedaan kerapatan material, ketidakseragaman komposisi, atau kecacatan dimana cahaya dihamburkan ke segala arah oleh material fiber optik.
- c. *Bending losses, bending* atau lekukan pada fiber optik dapat menyebabkan *loss*. *Macrobending* adalah pembengkokan fiber optik dengan radius yang panjang bila dibandingkan dengan radius fiber optik. *Microbending* adalah pembengkokan-pembengkokan kecil pada fiber optik akibat ketidakseragaman dalam pembentukan serat atau akibat adanya tekanan yang tidak seragam pada saat pengkabelan.
- d. *Core and cladding losses*, terjadi akibat perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding*, dan ketidaksempurnaan peristiwa TIR

Selain menyebabkan atenuasi, dalam proses menstransmisikan sinyal cahaya juga terjadi peristiwa distorsi. Distorsi adalah peristiwa ketika dua buah pulsa sinyal cahaya yang berurutan bertumpuk (*overlap*) sehingga detektor tidak dapat membedakan dua pulsa tersebut. Gambar 2.5 menunjukkan bagaimana terjadinya distorsi.



Gambar 2.5 Peristiwa terjadinya distorsi (Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010).

Penyebab distorsi pada fiber optik adalah :

- Dispersi Intermodal, terjadi pada fiber optik *multimode*, dimana setiap moda memiliki *group velocity* yang berbeda. Hanya terjadi pada fiber optik *multimode*.
- Dispersi Intramodal / kromatik, dapat disebabkan oleh material, karena nilai indeks bias material berbeda untuk setiap panjang gelombang dan oleh dispersi *waveguide*.

Efek dari dispersi ini adalah terjadinya pelebaran pulsa. Pelebaran pulsa akibat dispersi material dinyatakan dengan :

$$\sigma_{mat} = \sigma_{\lambda} \cdot L \cdot |D_{mat}(\lambda)| \quad (6)$$

Dengan :

- σ_{mat} = pelebaran pulsa (ps)
 σ_{λ} = lebar spektral sumber cahaya (nm)
 L = panjang fiber optik (km)
 $D_{mat}(\lambda)$ = dispersi material dalam fungsi panjang gelombang (ps/(nm.km))

Dari akibat adanya atenuasi dan distorsi, banyak jaringan optik yang memiliki *loss*. konektor yang kotor dapat melampaui batas atau standard *loss* yang diizinkan. Sehingga konektor yang kotor atau terkontaminasi merupakan penyebab umum dari kerugian atau *loss* yang dialami pada suatu jaringan (Ng, Ab-Rahman, Premadi, & Jumari, 2010).



(a)



(b)

Gambar 2.6 Permukaan konektor fiber didalam *fiber probe viewer*, (a) permukaan kotor konektor fiber dan (b) permukaan bersih konektor fiber (Ng, Ab-Rahman, Premadi, & Jumari, 2010)

Berikut merupakan tabel perbandingan *loss* antara konektor yang bersih dan kotor untuk panjang kabel dan fiber optik yang berbeda :

Tabel 2.1 Perbandingan *loss* untuk panjang kabel 1 meter dan 2 km fiber optik untuk konektor yang bersih dan yang kotor (Ng, Ab-Rahman, Premadi, & Jumari, 2010).

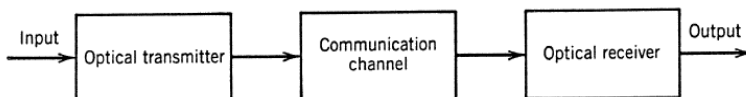
Laser source (nm)	1 m patch cord		2 km optical fiber line	
	Dirty connector (dBm)	Clean connector (dBm)	Dirty connector (dBm)	Clean Connector (dBm)
1310	-1.44	1.44	0.59	0.54
1490	-0.20	-0.18	-1.19	-1.08
1550	-0.41	0.42	-0.57	-0.42

Tabel 2.2 Perbandingan *loss* untuk panjang 2 km fiber optik dengan sumber modulasi yang berbeda (Ng, Ab-Rahman, Premadi, & Jumari, 2010).

Modulation	1310 nm (dBm)	1490 nm (dBm)	1550 nm (dBm)
270 Hz	-1.77	-3.37	-3.08
1 kHz	-1.73	-3.33	-2.71
2 kHz	-1.71	-3.29	-2.69
High	1.17	-0.48	0.15
CW (continuous wave)	-1.76	-3.46	-2.79
Auto ID	-1.81	-3.41	-2.82

2.3 Komponen Sistem Komunikasi Fiber Optik

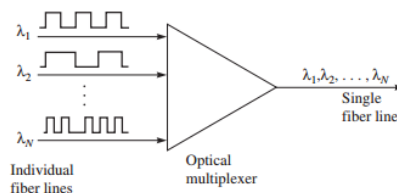
Dari segi sudut pandang yang sederhana, fungsi dari link fiber optik dalam sistem komunikasi adalah untuk mengangkut sinyal dari beberapa peralatan elektronik (misalnya, komputer, telepon, atau perangkat video) di satu lokasi menuju ke peralatan yang sesuai yang berada di lokasi lain dengan tingkat keandalan dan akurasi yang tinggi. Dalam membentuk suatu sistem komunikasi fiber optik, diperlukan beberapa divais yang dapat dikategorikan dalam komponen aktif dan pasif (Keiser, *Optical Communication Essentials*, 2003). Komponen aktif adalah divais yang membutuhkan sumber listrik untuk beroperasi. Contohnya adalah laser, *amplifier*, *modulator*, *attenuator*, dan *switch*. Sedangkan komponen pasif adalah divais yang tidak membutuhkan sumber energi lain dan hanya bekerja menyalurkan sinyal cahaya. Contohnya adalah fiber optik, konektor, *splices*, filter optik, dan *coupler*. Berikut merupakan susunan dasar dalam pembentukan sistem komunikasi fiber optik :



Gambar 2.7 Susunan dasar Sistem Komunikasi Fiber Optik (Agrawal, 2002)

Terdapat tiga aspek penting yaitu *transmitter*, *communication channel*, dan *optical receiver*. Masing-masing akan dijelaskan dalam uraian berikut :

- a. **Transmitter.** Suatu transmitter terdiri dari sumber cahaya, *multiplexer*, *coupler*, dan rangkaian elektronik pembangkit laser. Sumber tersebut dapat meliputi *Light Emitting Diode* (LED) atau laser dioda. Multiplexer adalah suatu komponen yang memungkinkan peningkatan kapasitas fiber optik melalui sistem TDM (*Time Division Multiplexing*) dan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Pada TDM, informasi dari banyak sumber dikirimkan berurutan ke satu tujuan, sedangkan pada WDM, sinyal tidak dikirimkan satu persatu melainkan tiap sumber memiliki panjang gelombang yang berbeda, sehingga dapat dikirimkan bersamaan dalam satu fiber. Hal ini menyebabkan kapasitas pada jaringan fiber optik WDM jauh lebih besar. (Keiser, *Optical Fiber Communications*, 4th edition, 2010) .



Gambar 2.8 Konsep dasar WDM (Keiser, *Optical Fiber Communications*, 4th edition, 2010)

- b. **Communication Channel.** Sebuah jaringan tidak mungkin hanya terdiri dari sebuah kabel lurus melainkan terdapat sambungan ataupun percabangan dari fiber optik. Beberapa jenis sambungan pada fiber optik adalah *coupler*, konektor, dan *splice*. *Coupler* adalah lensa mikro pada ujung fiber optik yang berfungsi memfokuskan cahaya dari *transmitter* agar

- c. ***Optical Receiver***, berfungsi untuk menerima sinyal cahaya yang disalurkan fiber optik lalu merubahnya kembali kedalam bentuk sinyal elektrik. *Receiver* terdiri dari beberapa komponen yaitu *coupler*, untuk memfokuskan sinyal yang diterima menuju *photodetector* sebagai penerima sinyal, dan *demodulator* untuk mengubah sinyal kembali ke sinyal elektronik. Pada receiver juga terdapat *photodiode* yang digunakan untuk mendeteksi sinyal optik dari ujung fiber optik dengan mengkonversikan ke dalam bentuk sinyal listrik.

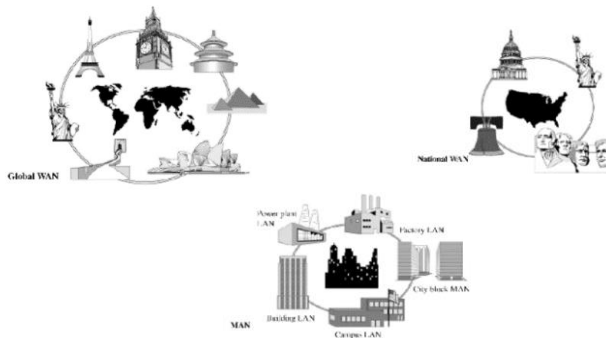
Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan *photodetector* adalah sensitivitas tinggi pada panjang gelombang cahaya yang digunakan pada jaringan fiber optik, *noise* kecil, waktu respon cepat, tidak sensitif terhadap temperatur, kompatibel terhadap ukuran fiber optik (Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010). Terdapat dua jenis *photodetector* yang memenuhi syarat tersebut adalah *PIN Photodiode* dan *Avalanche photodiode* (APD).

2.4 Aplikasi Link Fiber Optik

Fiber optik dapat diterapkan dalam interkoneksi mulai dari link lokal hingga link yang menjangkau benua atau samudera. Pada gambar 2.11 menunjukan jaringan secara tradisional dibagi menjadi tiga kategori (Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010), yaitu :

- a. *Local-area network* (LAN) , merupakan pengguna interkoneksi di daerah lokal seperti ruang, departemen, bangunan, kantor atau pabrik yang kompleks, atau kampus. Kata kampus diartikan sebagai setiap kelompok bangunan yang jaraknya dapat ditempuh dengan berjalan kaki atau dalam jarak yang sangat dekat. Misalnya, bisa jadi bangunan yang bertempat dari sebuah perusahaan, fasilitas medis yang besar, atau sebuah kompleks

- universitas. LAN biasanya dimiliki, digunakan, dan dioperasikan oleh satu organisasi.
- b. *Metropolitan-area network* (MAN), merupakan rentang area yang lebih besar dari LAN. Ini bisa menjadi interkoneksi antara bangunan yang meliputi beberapa blok dalam kota atau bisa mencakup seluruh kota dan daerah metropolitan sekitarnya. Ada juga beberapa cara interkoneksi sumber daya MAN dengan entitas komunikasi yang terletak di kedua LAN dan jaringan wide-area. MAN dimiliki dan dioperasikan oleh banyak organisasi. Ketika berbicara tentang aplikasi serat MAN optik, orang cenderung untuk memanggil mereka aplikasi metro.
 - c. *Wide-area network* (WAN) merupakan suatu jaringan yang menjangkau area geografis yang sangat luas. Link dapat mencapai koneksi antara fasilitas di kota-kota tetangga yang memiliki jarak tempuh yang sangat jauh atau transmisi line bawah laut yang berjalan di suatu negara atau antar negara. WAN selalu dimiliki dan dioperasikan oleh banyak penyedia layanan transmisi.



Gambar 2.11 Beberapa katagori jaringan (Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010)

2.5 Desain Jaringan Fiber To The Home (FTTH)

Dalam melakukan desain komunikasi optik, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan selain parameter *loss* yang diakibatkan oleh beberapa komponen pasif yaitu pemilihan beberapa komponen yang akan digunakan seperti pemilihan komponen transmitter, fiber optik, dan juga detektor.

Dalam menggunakan sumber cahaya optik dapat dengan menggunakan *Light-Emitting Diode* (LED) atau *Laser diode* (LD). Kedua sumber cahaya optik tersebut terbuat dari bahan semikonduktor. Namun karakteristik dari kedua sumber cahaya optik tersebut terdapat perbedaan yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam rancangan desain komunikasi optik. Diantara perbedaan keduanya, untuk sumber cahaya optik *Laser diode* lebih koheren di bandingkan dengan menggunakan LED dan juga LD memiliki *spectral width* yang lebih sempit daripada LED sehingga *laser diode* lebih monokromatis dibandingkan dengan LED. Selain itu *laser diode* juga mempunyai *ouput power* yang lebih tinggi dibandingkan output power dari LED, sehingga *laser diode* lebih digunakan untuk keperluan aplikasi yang membutuhkan jarak yang sangat jauh dengan kecepatan data yang lebih tinggi. Dengan mempertimbangkan ketiga faktor tersebut, maka komponen sumber cahaya optik yang digunakan dalam desain komunikasi optik adalah dengan menggunakan sumber cahaya *Fabry-Perot Laser Diode* dengan spesifikasi komponen sebagai berikut :

Tabel 2.3 Spesifikasi *Fabry-perot laser diode*

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Output power-pigtail end</i>	+3	dBm
<i>Wavelength</i>	1310	nm
<i>rise-time</i>	140	ps
<i>Fall-time</i>	140	ps

Dalam menggunakan fiber optik sebagai sistem komunikasi, hendaknya memperhitungan kapasitas *bandwidth* yang diinginkan

serta jarak transmisi yang ingin dicapai . Dengan menggunakan sumber 1310 nm, dengan jarak transmisi *boundary* telkom sejauh maksimal 30 km, maka PT.Telkom menggunakan fiber optik *singlemode* dengan tipe G.652 D .

Berikut ini merupakan karakteristik dari fiber optik *singlemode* dengan tipe G.652.D :

Tabel 2.4 Karakteristik Fiber optik *Singlemode* tipe G.652D

No	Karakteristik	Nilai
<i>Komposisi bahan</i>		
1	<i>Core</i>	Germanium doped silica
2	<i>Cladding</i>	Silica, step index
3	<i>Coating</i>	Dual Layers of UV-cured acrylate
<i>Geometrical Characteristics</i>		
4	<i>Fiber Length</i>	25.2 / 50.4 km
5	<i>Mode Field Diameter</i>	$9.2 \pm 0.4 \mu m$
6	<i>Cladding Diameter</i>	$125.0 \pm 0.7 \mu m$
7	<i>Coating Diameter</i>	$245 \pm 5 \mu m$
8	<i>Core/cladding concentricity error</i>	$\leq 0.5 \mu m$
9	<i>cladding non circularity</i>	$\leq 0.7\%$
<i>Optical Characteristics</i>		
10	<i>Attenuation</i>	$\leq 0.334 \text{ dB / km}$
11	<i>Chromatic Dispersion</i>	$\leq 3.5 \text{ ps / (nm.km)}$

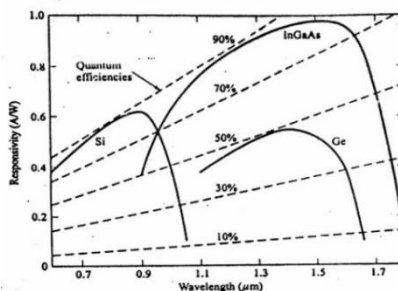
Dalam pemilihan detektor cahaya, harus mengetahui daya minimum yang harus diterima detektor untuk mencapai BER sebesar 10^{-9} . Pada implementasinya dilapangan dapat dengan menggunakan tipe PIN sebagai *photodetector* berkinerja tinggi. Terdapat banyak jenis PIN *photodiode* tergantung dari jenis

bahan yang digunakan. Berikut karakteristik dari berbagai jenis PIN *photodiode* :

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Wavelength range	λ	nm	400–1100	800–1650	1100–1700
Responsivity	\mathcal{R}	A/W	0.4–0.6	0.4–0.5	0.75–0.95
Dark current	I_D	nA	1–10	30–500	0.5–2.0
Rise time	τ	ns	0.5–1	0.1–0.5	0.05–0.5
Bandwidth	B	GHz	0.3–0.7	0.5–3	1–2
Bias voltage	V_B	V	5	5–10	5

Gambar 2.12 . Karakteristik dari berbagai jenis bahan PIN *photodiode* (Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010).

Sesuai dengan karakteristik dari jenis bahan PIN *photodiode* tersebut, agar memenuhi persyaratan kinerja data dengan tingkat komunikasi data hingga mencapai kapasitas *bandwidth* *GigaHertz* (GHz) dengan menggunakan *singlemode optical fiber* pada panjang gelombang 1310 nm dapat menggunakan PIN *photodiode* dengan jenis bahan InGaAs. Selain hal itu juga dikarenakan dengan menggunakan bahan InGaAs memiliki nilai quantum efisiensi yang dapat mencapai hingga 90% sesuai dengan grafik berikut ini :



Gambar 2.13. Perbandingan responsivitas dan quantum efisiensi dengan fungsi panjang gelombang pada tiap-tiap jenis bahan PIN *photodiode* (Keiser, Optical Fiber Communications, 4th edition, 2010).

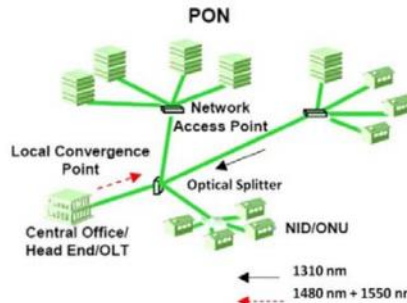
Berikut spesifikasi *photodetector* PIN-1310-10LR-LC yang digunakan dalam desain komunikasi optik :

Tabel 2.5 Spesifikasi *photodetector* PIN-1310-10LR-LC

Parameter	Nilai	unit
Data Rate	11,3	Gbps
Maximum input power	+3	dBm
<i>rise-time</i>	45	ps
fall time	45	ps

Fiber To The Home (FTTH) adalah sistem penyediaan akses jaringan fiber optik dimana titik konversi optik berada di rumah pelanggan (Hantoro,2015). Titik konversi optik merupakan ujung jaringan fiber optik di sisi *client* yang berfungsi sebagai lokasi konversi sinyal optik ke sinyal elektrik sebelum diakses oleh berbagai perangkat. FTTH adalah satu dari berbagai alternatif jaringan FTTX, yaitu *Fiber To The Building* (FTTB), *Fiber To The Curb* (FTTC), *Fiber To The Tower* (FTTT), atau *Fiber To The Zone* (FTTZ).

Arsitektur jaringan komunikasi fiber optik yang digunakan dalam FTTH adalah *Passive Optical Network* (PON). PON merupakan jaringan *point-to-multipoint* yang tidak memiliki komponen aktif selain di sisi *Central Office* (CO) dan sisi pelanggan. Dengan kata lain, sinyal optik dikirimkan hanya melalui komponen pasif yaitu fiber optik, *splices*, dan *splitter/combiner*. PON merupakan teknologi terbaru setelah *Point-to-point fiber connection*, dimana tiap *client* memiliki jalur fiber optik pribadi untuk menuju CO, dan *Active Optical Network* (AON), yaitu jaringan yang membutuhkan komponen aktif berupa switch elektronik sebagai penyalur informasi. Gambar 2.14 menunjukkan ilustrasi sederhana dari PON seperti berikut :

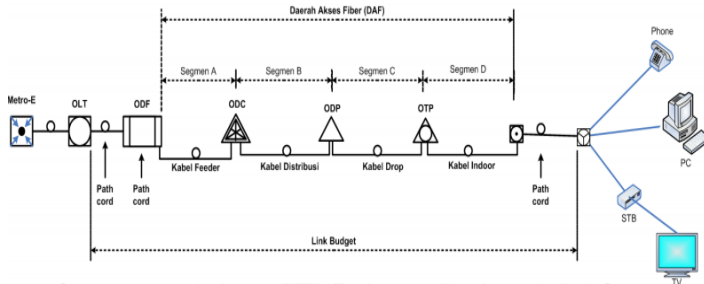


Gambar 2.14 PON architecture (Ab-Rahman, 2011)

Sejak ditemukan oleh British Telecom pada 1980-an, PON terus dikembangkan karena memiliki fleksibilitas tinggi. Terbukti dari munculnya berbagai skema jaringan baru yang berakar dari PON, yaitu GE-PON, *Broadband* PON (BPON), GPON, XGPON, dan *Ethernet* PON atau EPON (Gillani, Khan, & Shahid, 2015). Pengembangan PON juga dilakukan pada cara *sharing* data yang dilakukan, yaitu TDM-PON, WDM-PON, dan Hybrid-PON. Topologi dari PON juga dapat divariasikan seperti jaringan pada umumnya menggunakan topologi *tree*, *bus*, atau *ring*.

Seperti halnya sistem komunikasi optik yang dibahas sebelumnya, Untuk memahami konfigurasi FTTH menjadi sangat penting agar bisa lebih mengenal FTTH secara keseluruhan. Konfigurasi FTTH ini memiliki dua klasifikasi komponen yaitu komponen aktif dan komponen pasif. Komponen aktif sebagai komponen utama terdiri dari *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Network Unit* (ONU) / *Optical Network Termination* (ONT), dan komponen pasif sebagai komponen pendukungnya adalah *Optical Distribution Network* (ODN), seperti kabel fiber optic itu sendiri, *splitter*, *splices*, konektor, dsb (Hantoro & Karyada, 2015).

Konfigurasi umum FTTH berbasis PON ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 2.15 Konfigurasi umum FTTH (Hantoro & Karyada, 2015).

- a. OLT adalah ujung fiber optik pada bagian CO yang menghubungkan jaringan *ke backbone Metro-Ethernet* (ME) atau ke jaringan yang lain.
- b. ONU atau ONT adalah ujung fiber optik pada sisi pelanggan, dimana terdapat titik konversi optik.
- c. Daerah Akses Fiber (DAF) atau bagian ODN yang dibagi menjadi 4 segmen berdasarkan jenis kabel fiber optik yang digunakan, yaitu:
 - Segmen 1 : kabel *feeder* menghubungkan *Optical Distribution Frame* (ODF) dan *Optical Distribution Cabinet* (ODC).
 - Segmen 2 : kabel distribusi dan *Optical Distribution Point* (ODP). ODC dan ODP merupakan lokasi sambungan (*splices*) dan *splitter*.
 - Segmen 3 : kabel drop dan *Optical Terminal Premises* (OTP).

- Segmen 4 : kabel indoor yang diletakkan dalam rumah dan *Optical Indoor Outlet* (Roset).

2.6 Optical Link Power Budget

Kunci dari berjalannya suatu jaringan fiber optik adalah besarnya daya cahaya tersedia untuk mengirimkan data. . Link *budget* dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) atau dengan menghitung *loss* tiap komponen dalam sistem atau jaringan. Perhitungan *link power budget* dilakukan untuk mengetahui batasan redaman / *loss* yang diizinkan antara daya keluaran pemancar (*transmitter power*) dan sensitivitas penerima (Dermawan, Santoso, & Prakoso, 2016) . Beberapa persamaan terkait perhitungan *Link Power Budget* adalah :

$$P_B = P_T - P_R \quad (7)$$

$$a_{\text{tot}} = L \cdot a_f + N_c \cdot a_c + N_s \cdot a_s + a_{sp} \quad (8)$$

$$M = P_B - a_{\text{tot}} - M_s \quad (9)$$

Dimana :

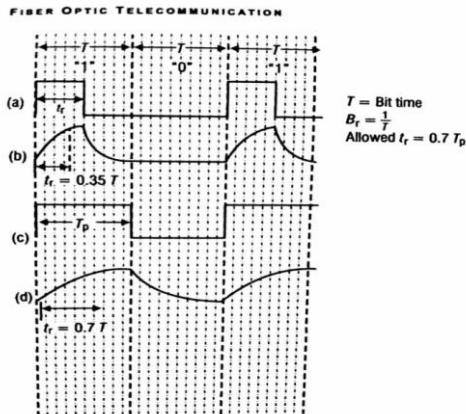
P_B	= <i>Link Power Budget</i>	N_s	= jumlah <i>splices</i>
P_T	= <i>Minimum transmitter power</i>	a_s	= <i>loss splices</i> (dB)
P_R	= <i>Minimum receiver sensitivity</i>	a_{sp}	= <i>loss splitter</i> (dB)
a_{tot}	= <i>total loss</i>	M	= <i>link margin</i>
L	= <u>panjang fiber optik</u> (km)	M_s	= <i>safety margin</i>
a_f	= <i>atenuasi fiber optik</i> (dB/km)		
N_c	= jumlah konektor		
a_c	= <i>loss konektor</i> (dB)		

Redaman atau *loss* total diperoleh dari jumlah *loss* per komponen sepanjang ODN yaitu penjumlahan *loss* fiber optik, *splices*, konektor, dan *splitter*. *Link margin* adalah daya yang masih tersisa dari seluruh proses transmisi setelah dikurangi *loss* pada komponen dan *safety margin*. *Link margin* tidak boleh bernilai nol atau negatif karena menunjukkan apakah sinyal optis tersampaikan pada penerima. *Safety margin* merupakan cadangan

untuk *error* atau *loss* lain yang tidak terprediksi. Pada umumnya *safety margin* dipilih nilai 3 dB dan sebaiknya tidak boleh kurang dari 1.7 dB (Ng, Ab-Rahman, Premadi, & Jumari, 2010).

2.7 Rise-time Budget

Dalam sistem komunikasi digital, pengkodean secara umum dapat dengan menggunakan *return-to-zero* (RZ) dan *non-return-to-zero* (NRZ). Untuk pengkodean dengan menggunakan NRZ, diperlukan hanya satu transisi untuk setiap bit. Berbeda dengan pengkodean dengan menggunakan RZ, karena RZ memerlukan dua transisi untuk tiap bit. Untuk sistem komunikasi digital dapat di analisis berdasarkan *rise-time*.



Gambar 2.16 Efek *rise-time* untuk sinyal NRZ dan sinyal RZ (Massa, 2000)

Berdasarkan dari gambar 2.16, dapat dilihat bahwa *rise-time* akan memberikan efek pada sinyal NRZ dan juga RZ. *Rise-time* merupakan waktu respon yang dibutuhkan oleh sistem mulai dari 10 – 90 % untuk menuju sinyal masukan. Keterbatasan dari *rise-time* akan menyebabkan data terdistorsi sehingga data tersebut akan *loss*. Maka untuk menghindari distorsi tersebut,

mensyaratkan bahwa suatu sistem memiliki nilai *rise-time* (t_s) tidak lebih dari 70% dari *Time Period* (T_p) (Massa, 2000).

Rise-time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu link fiber optik (Dermawan, Santoso, & Prakoso, 2016). *Rise-time budget* merupakan penjumlahan *rise-time* dari berbagai komponen pembentuk jaringan FTTH. Secara sederhana persamaan perhitungan *rise-time budget* adalah (Zanger & Zanger, 1991) :

$$t_s = \sqrt{(t_{tx}^2 + t_f^2 + t_{rx}^2)} \quad (10)$$

Dimana masing-masing menunjukkan *rise-time* dari *transmitter* (tx), dispersi fiber optik (f), dan *receiver* (rx). Untuk *rise-time* dari fiber optik dapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} t_f &= t_{GVD}^2 \\ t_f &= D^2 \times \sigma_\lambda^2 \times L^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Rise-time budget memiliki hubungan yang erat dengan *bandwidth* atau *bit rate*. Dalam hal ini, dispersi pulsa yang dialami keseluruhan sistem FTTH tidak boleh melebihi kapasitas *bandwidth*. Untuk sistem analog, hubungan antara *bandwidth* dan *rise-time* ditunjukkan oleh persamaan 12.

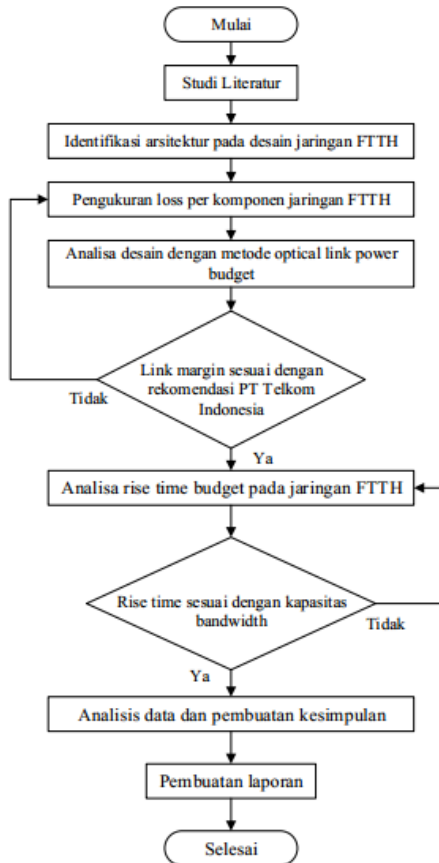
$$BW = 0.35/t_s \quad (12)$$

Sedangkan untuk sistem digital, karena peralatan yang digunakan berupa elektronik, dengan format *Non Return to Zero* (NRZ) (Djordjevic, Ryan, & Vasic, 2010), maka :

$$BW = 0.7/t_s \quad (13)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah awal sebelum memulai penelitian. Studi literatur ini meliputi pemahaman konsep tentang tugas akhir yang akan dikerjakan, mulai dari review jurnal pendukung sampai pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Dalam penelitian tugas akhir yang akan dikerjakan adalah berkaitan dengan analisis *Optical Power Budget* dan *Rise-time Budget* pada jaringan *Fiber to The Home* (FTTH) berbasis *Passive Optical Network* (PON) . Dalam hal ini yang harus dilakukan sebelum melakukan penelitian tersebut adalah dengan memahami konsep mengenai sistem komunikasi fiber optik .

Dalam mempermudah pemahaman mengenai konsep sistem komunikasi fiber optik dapat dilakukan dengan mencari beberapa referensi , untuk referensi utama dapat dengan menggunakan buku Gerd Keiser edisi 3 dengan judul buku “ *Optical Fiber Communication*” . Buku tersebut membahas tentang konsep sistem komunikasi dengan menggunakan fiber optik . Selain itu untuk menunjang referensi tersebut, dapat dengan melakukan review jurnal yang berkaitan dengan metode *optical power budget* dan *rise-time budget* dan teori tentang *Fiber to the home* (FTTH) .

3.2 Identifikasi arsitektur pada desain jaringan FTTH

Dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini, setelah mendapatkan referensi utama hingga beberapa referensi penunjang untuk mempermudah pemahaman konsep berkaitan dengan judul tugas akhir ini, maka tahapan yang kedua adalah melakukan identifikasi arsitektur pada jaringan *Fiber To The Home* berbasis *Passive Optical Network* .

Penelitian tugas akhir ini bekerjasama dengan PT.Telkom yang dalam perancanganya telah menerapkan konsep jaringan *fiber to the home* (FTTH) berbasis *passive optical network* (PON) dengan menggunakan fiber optik . Oleh karena itu, dalam melakukan identifikasi arsitektur jaringan *Fiber to The Home* mengacu pada desain jaringan FTTH yang digunakan oleh

PT.Telkom . Arsitektur jaringan FTTH yang digunakan oleh PT.Telkom adalah *Passive Optical Network* (PON) sesuai dengan gambar 2.15. PON merupakan jaringan *point-to-multipoint* yang tidak memiliki komponen aktif selain di sisi *Central Office* (CO) dan sisi pelanggan. Seperti halnya sistem komunikasi optik yang dibahas sebelumnya, PON merupakan suatu jaringan yang memiliki komponen utama yang disebut dengan *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Network Unit* (ONU) / *Optical Network Termination* (ONT), dan *Optical Distribution Network* (ODN). OLT adalah ujung fiber optik pada bagian CO yang menghubungkan jaringan ke backbone Metro Ethernet (ME) atau ke jaringan yang lain. ONU atau ONT adalah ujung fiber optik pada sisi pelanggan, dimana terdapat titik konversi optik . Untuk ODN terdiri dari 4 segmen yang terbagi menjadi segmen 1, segmen 2, segmen 3, dan segmen 4.

Segmen 1 merupakan catuan kabel feeder yang menghubungkan *Optical Distribution Frame* (ODF) dan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) . Untuk segmen 2 merupakan catuan kabel distribusi dan *Optical Distribution Point* (ODP) . Dalam segmen 3 merupakan catuan kabel drop dan *Optical Terminal Premises* (OTP) . Sedangkan untuk segmen 4 merupakan catuan kabel indoor yang diletakkan dalam rumah dan *Optical Indoor Outlet* (Roset).

3.3 Pengukuran loss per komponen

Dalam desain FTTH yang digunakan oleh PT.Telkom untuk di implementasikan dilapangan, terdiri dari 4 segmen yaitu segmen A, segmen B, segmen C, dan segmen D . Untuk segmen A merupakan segmen *feeder* untuk instalasi jaringan fiber optik primer dengan jenis G.652D mulai dari *Optical Distribution Frame* (ODF) sampai dengan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) . Di dalam segmen *feeder* terdapat beberapa komponen pasif diantaranya *splitter* 1:4 , *splices* , *pathcord*, dan juga konektor. Sedangkan segmen B merupakan segmen distribusi

untuk instalasi jaringan fiber optik sekunder dengan jenis G652D mulai dari ODC hingga ODP . Di dalam segmen distribusi juga terdapat beberapa komponen pasif seperti *splices* , *splitter* 1 : 8 , dan konektor . Untuk di segmen C merupakan segmen penanggal untuk instalasi kabel *dropcore* dengan jenis G652D mulai dari ODP sampai dengan OTP . Di dalam segmen penanggal ini juga terdapat beberapa komponen pasif seperti konektor dan *splices*. Sedangkan untuk dibagian segmen terakhir yaitu segmen D merupakan segmen instalasi rumah yaitu kabel optik mulai dari OTP sampai dengan roset yang dimana letak roset berada didalam rumah pelanggan . Di dalam segmen instalasi rumah ini hanya terdapat satu komponen pasif yaitu kabel *patchcord* .

Setelah mengetahui beberapa komponen pasif yang terpasang dilapangan, maka selanjutnya untuk langkah ketiga pada penelitian tugas akhir ini adalah melakukan pengukuran *loss* per komponen yang terdapat di setiap segmen dengan menggunakan *optical power meter* (OPM) . Data hasil pengukuran *loss* per komponen ini nanti akan digunakan dalam menganalisis performansi jaringan dengan menggunakan metode *optical link power budget*.

3.4 Analisis menggunakan metode *optical link power budget*

Untuk langkah yang keempat adalah analisa desain jaringan FTTH dengan menggunakan metode *Optical Link Power Budget*. Untuk melakukan analisis dengan menggunakan *Optical Link Power Budget*, mengacu pada data standard redaman atau *loss* per komponen yang digunakan oleh PT.Telkom.Dalam menggunakan metode *optical power budget* dapat dengan menggunakan perhitungan persamaan 7, 8 , dan 9.

Kunci dari berjalannya suatu jaringan fiber optik adalah besarnya daya cahaya tersedia untuk mengirimkan data. Perhitungan *link power budget* dilakukan untuk mengetahui batasan redaman / *loss* yang diizinkan antara daya keluaran pemancar (*transmitter power*) dan sensitivitas penerima. Selain itu, analisis dengan menggunakan metode *Optical Power Budget* dapat mengetahui jarak maksimum transmisi fiber optik yang

mampu dicapai. Untuk mengetahui jarak maksimum transmisi fiber optik yang mampu dicapai dapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L = \frac{P_T - P_R - ((N_c \times a_c) + (N_s \times a_s) + a_{sp(1:4)} + a_{sp(1:8)} + a_{pc} + a_{dc} + Ms)}{a_f}$$

Dimana :

P_B = Link Power Budget

P_T = Minimum transmitter power

P_R = Minimum receiver sensitivity

a_{tot} = total loss

L = panjang fiber optik (km)

a_f = atenuasi fiber optik (dB/km)

N_c = jumlah konektor

a_c = loss konektor (dB)

N_s = jumlah splices

a_s = loss splices (dB)

a_{sp} = loss splitter (dB)

M_s = safety margin

Dari persamaan tersebut terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan yaitu daya *output transmitter*, daya tangkap *receiver*, jumlah *splices* dan besar *loss splices*, jumlah konektor dan *loss* konektor, *loss splitter* 1:4 dan *splitter* 1:8 , *loss pathcord*, *loss dropcore* dan alokasi *loss* dari sistem margin sebesar 6dB. Oleh karena itu, analisis dengan menggunakan metode *Optical link Power Budget* dapat mengetahui performansi jaringan yang telah di implementasikan di lapangan . Analisis ini perlu dilakukan karena faktor keberhasilan dari PT.Telkom adalah dengan memiliki performansi jaringan yang sesuai dengan kriteria perancangan sehingga dapat mencapai tingkat kepuasan untuk setiap pelangganya .

3.5 Analisis menggunakan metode *rise-time budget*

Utuk langkah yang kelima dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah analisis *rise-time budget pada jaringan FTTH* . *Rise-time* merupakan waktu respon yang dibutuhkan oleh sistem mulai dari 10 – 90 % untuk menuju sinyal masukan . Keterbatasan dari *rise-time* akan menyebabkan data terdistorsi sehingga data tersebut akan *loss*. Maka untuk menghindari distorsi tersebut, mensyaratkan bahwa suatu sistem memiliki nilai *rise-time* (t_s)

tidak lebih dari 70% dari *Time Period* (T_p). Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari nilai *rise-time* dari suatu sistem :

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_f^2 + t_{rx}^2}$$

Dari persamaan tersebut, masing-masing menunjukkan *rise-time* dari *transmitter* (t_{tx}), *rise-time* fiber optik (t_f), dan *rise-time receiver* (t_{rx}) sehingga parameter yang harus diperhatikan untuk mengetahui nilai *rise-time* dari suatu sistem adalah harus mengetahui nilai *rise-time* dari *transmitter* , nilai *rise-time* dari fiber optik dan nilai *rise-time* dari *receiver*. Analisis *rise-time budget* ini juga perlu dilakukan karena akan menentukan performansi jaringan yang telah di implementasikan dilapangan berkaitan dengan kapasitas bandwidth yang di inginkan .

3.6 Analisis Data dan pembuatan kesimpulan

Dalam tahapan yang keenam adalah analisis data yang merupakan tahapan sebelum dilakukannya penyusunan laporan pada tugas akhir ini. Pada analisis data ini akan berkaitan dengan hasil analisis dengan menggunakan metode *Optical Power Budget* dan *Rise-time Budget*. Dari hasil analisis data ini akan ditarik suatu hipotesa yang akan dijadikan sebagai kesimpulan akhir pada penelitian tugas akhir ini.

3.7 Pembuatan laporan

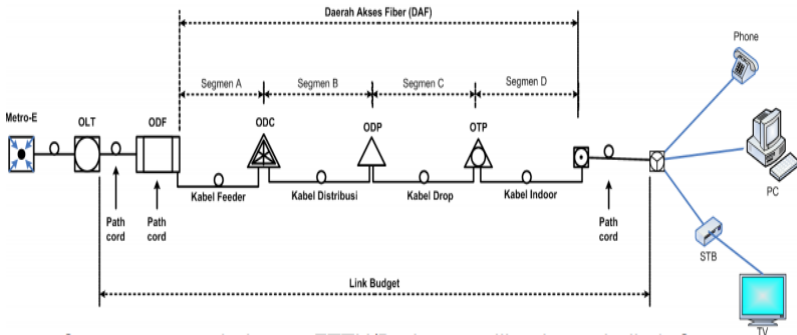
Untuk tahapan yang terakhir adalah dengan pembuatan laporan mengenai tugas akhir yang telah dilakukan mulai dari pengumpulan studi literatur hingga hasil analisis data dan kesimpulan akhir dari penelitian tugas akhir ini .

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Jaringan FTTH

Jaringan PT.Telkom Indonesia telah membangun jaringan komunikasi berbasis *Fiber to The Home* (FTTH) dengan kapasitas *bandwith Gigabit per second*. Jaringan komunikasi berbasis FTTH khususnya di daerah surabaya telah memiliki kurang lebih 19 *Sentral Telepon Otomat* (STO) dengan *boundary* telkom maksimal sejauh 30 km .



Gambar 4.1 Elemen dan Network FTTH

Gambar 4.1 merupakan gambar yang menunjukkan topologi jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) yang digunakan oleh PT.Telkom. Pada topologi jaringan FTTH, terdiri dari dua klasifikasi perangkat yaitu perangkat aktif dan perangkat pasif. Perangkat aktif terdiri dari perangkat OLT (*Optical Line Termination*) yang terpasang di sisi sentral dan ONT (*Optical Network Termination*) yang berada di sisi rumah pelanggan. Untuk perangkat pasif sebagai perangkat pendukung dalam jaringan *Fiber to The Home* (FTTH) yang dinamakan perangkat ODN (*Optical Distribution Netwrok*). Perangkat ODN tersebut terdiri dari beberapa perangkat pendukung pasif yaitu kabel fiber optik itu sendiri, *splitter* 1:4 dan *splitter* 1:8, *splices*, dan

konektor. Secara umum jaringan *Fiber to The Home* (FTTH) dapat dibagi menjadi 4 segmen catuan kabel selain dua perangkat aktif seperti *Optical Line Termination* (OLT) yang terletak dibagian sisi *Central Office* dan *Optical Network Termination* (ONT) yang terletak dibagian sisi rumah pelanggan.

Pada bagian Segmen A merupakan Catuan kabel *feeder* dengan menggunakan kabel fiber optik *singlemode* tipe G652D sebagai kabel utama (primer) untuk menyalurkan informasi yang berupa sinyal optik hasil konversi perangkat *opto-elektrik* (OLT) serta menghubungkan *Optical Distribution Frame* (ODF) sebagai tempat titik terminasi pangkal dari kabel *feeder* dan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) sebagai tempat titik terminasi ujung dari kabel *feeder*. Pada segmen A juga terdapat beberapa komponen pasif pendukung lainnya yaitu *splices* , *splitter* 1:4, *patchcord* dan konektor.

Pada bagian Segmen B merupakan Catuan Kabel Distribusi dengan menggunakan kabel fiber optik dengan jenis yang sama seperti kabel *feeder* yaitu fiber optik *singlemode* G652D sebagai kabel pembagi (sekunder) yang menghubungkan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) dengan *Optical Distribution Point* (ODP) sebagai tempat terminasi ujung dari kabel distribusi. Pada segmen B terdapat beberapa komponen pasif seperti *splices* , *splitter* 1:8 dan konektor.

Pada bagian Segmen C merupakan Catuan Kabel Drop dengan untuk meneruskan sinyal optik yang menghubungkan dari *Optical Distribution Point* (ODP) sebagai tempat titik pangkal kabel *drop* dengan *Optical Terminal Premises* (OTP) sebagai tempat terminasi ujung dari kabel drop.

Pada bagian Segmen D merupakan bagian segmen terakhir berupa Catuan Kabel *indoor* yang berfungsi untuk meneruskan arus informasi yang berupa gelombang cahaya yang menghubungkan *Optical Terminal Premises* (OTP) dengan *indoor Optical Outlet* (Roset) sebagai tempat terminasi ujung dari kabel fiber optik indoor yang terletak didalam rumah pelanggan.

Setelah mengetahui penjelasan berkaitan dengan topologi jaringan *Fiber to The Home* FTTH yang terbagi atas 4 segmen serta beberapa komponen pasif pendukung didalamnya, maka berikut merupakan spesifikasi kebutuhan jaringan yang dibutuhkan dalam jaringan *Fiber to The Home* (FTTH) :

Tabel 4.1 Spesifikasi Kebutuhan Jaringan FTTH

NO	Spesifikasi	Nilai
1	Laju data	1 Gbps
2	Jenis Transmisi	Digital NRZ
3	Panjang Gelombang	1310 nm
4	<i>Power Output Transmitter</i>	+3 dBm
5	<i>Sensitivitas Receiver</i>	-32 dBm
6	Redaman max/min	25/19 dB
7	Jarak transmisi	
	Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11	12.5 km
	Siwalankerto 8/AB-11	14.1 km
	Brebek Industri 7/04	17.5 km
8	<i>Bit Error Rate (BER)</i>	10^{-9}

Pada table 4.1 tersebut merupakan beberapa data yang harus dipenuhi untuk mendukung layanan dengan menggunakan jaringan *Fiber to The Home* (FTTH). Untuk data-data berkaitan dengan data-data pengukuran *loss* dari beberapa parameter seperti fiber optik, *splices*, konektor, *splitter*, *dropcore* dan juga *pathcore* bisa didapatkan melalui pengukuran dengan menggunakan alat *Optical Power Meter* (OPM).

Berikut merupakan data-data standard *loss* dari berbagai parameter tersebut yang telah ditetapkan oleh PT.Telkom dalam desain komunikasi optik pada jaringan FTTH :

Tabel 4.2 Data Standard *Loss* per Komponen

NO	Netwrok elemen	batasan	ukuran
1	fiber optik <i>singlemode loss tube cable G.652.D</i>	<i>max</i>	0.35 dB/km
2	<i>splices</i>	<i>max</i>	0.1 dB
3	konektor <i>loss</i>	<i>max</i>	0.25 dB
4	<i>splitter 1 : 4</i>	<i>max</i>	7.25 dB
5	<i>splitter 1 : 8</i>	<i>max</i>	10.38 dB
6	<i>dropcore</i>	<i>min</i>	0.35 dB/km
7	<i>pathcore</i>	<i>min</i>	0.15 dB

4.2 Hasil Pengukuran Berdasarkan *Optical Power Budget*

Telah dilakukan pengukuran daya dengan menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) terhadap masing-masing pelanggan yaitu pelanggan 01 , pelanggan 02, dan pelanggan 03 . Berikut hasil pengukuran dilapangan yang telah didapatkan untuk tiap masing-masing pelanggan :

4.2.1. Pelanggan 01

Pengukuran yang dilakukan terhadap pelanggan 01 berada pada jalur transmisi STO Kebalen- Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11. Dari hasil pengukuran daya pada jalur tersebut, telah didapatkan data-data berkaitan dengan *loss* dari tiap-tiap komponen pasif seperti fiber optik, *splices*, konektor, *splitter*, *dropcore* dan juga *pathcore*. Utnuk pengukuran daya terhadap beberapa komponen pasif tersebut dapat dilakukan per segmen yaitu mulai dari segmen A hingga segmen D.

Berikut merupakan data-data hasil yang telah didapatkan dari pengukuran per segmen dilapangan :

Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran per Segmen

KOMPONEN	NILAI	LOSS
SEGMENT A		
fiber optik <i>singlemode loss tube cable G.652.D</i>	11 km	3.85 dB
Konektor	2 buah	0.5 dB
<i>Splices</i>	2 buah	0.41 dB
<i>splitter</i> 1:4	1 buah	7.82 dB
<i>Pathcord</i>	1 buah	0.41 dB
SEGMENT B		
fiber optik <i>singlemode loss tube cable G.652.D</i>	1.5 km	0.52 dB
Konektor	2 buah	0.5 dB
<i>Splices</i>	2 buah	0.51 dB
<i>Splitter</i> 1:8	1 buah	10.79 dB
SEGMENT C		
<i>Dropcore</i> G.652.D	1 buah	2.13 dB
Konektor	1 buah	0.25 dB
<i>Splices</i>	1 buah	0.31 dB
SEGMENT D		
<i>Pathcord</i>	1 buah	0.41 dB

4.2.2 Pelanggan 02

Pengukuran yang dilakukan terhadap pelanggan 02 berada pada jalur transmisi STO Kebalen - Siwalankerto 8AB/11. Dari hasil pengukuran daya, telah didapatkan data-data berkaitan dengan *loss* dari tiap-tiap komponen pasif seperti fiber optik, *splices*, konektor, *splitter*, *dropcore* dan juga *pathcore*. Pengukuran tersebut dapat dilakukan per segmen yaitu mulai dari segmen A hingga segmen D.

Berikut merupakan data-data hasil yang telah didapatkan dari pengukuran per segmen dilapangan :

Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran per Segmen

KOMPONEN	NILAI	LOSS
SEGMENT A		
fiber optik <i>singlemode loss tube cable G.652.D</i>	13 km	4.55 dB
Konektor	2 buah	0.5 dB
<i>Splices</i>	2 buah	0.61 dB
<i>splitter</i> 1:4	1 buah	7.96 dB
<i>Pathcord</i>	1 buah	0.4 dB
SEGMENT B		
fiber optik <i>singlemode loss tube cable G.652.D</i>	1 km	0.35 dB
Konektor	2 buah	0.5 dB
<i>Splices</i>	2 buah	0.31 dB
<i>Splitter</i> 1:8	1 buah	10.84 dB
SEGMENT C		
<i>Dropcore</i> G.652.D	1 buah	2.04 dB
Konektor	1 buah	0.25 dB
<i>Splices</i>	1 buah	0.41 dB
SEGMENT D		
<i>Pathcord</i>	1 buah	0.4 dB

4.2.3 Pelanggan 03

Pengukuran yang dilakukan terhadap pelanggan 03 berada pada jalur transmisi STO Kebalen - Brebek Industri 7/04. Dari hasil pengukuran daya, telah didapatkan data-data berkaitan dengan *loss* dari tiap-tiap komponen pasif seperti fiber optik, *splices*, konektor, *splitter*, *dropcore* dan juga *pathcore*. Pengukuran tersebut dapat dilakukan per segmen yaitu mulai dari segmen A hingga segmen D.

Berikut merupakan data-data hasil yang telah didapatkan dari pengukuran per segmen dilapangan :

Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran per Segmen

KOMPONEN	NILAI	LOSS
SEGMENT A		
fiber optik <i>singlemode loss tube cable G.652.D</i>	16 km	5.6 dB
Konektor	2 buah	0.5 dB
<i>Splices</i>	2 buah	0.41 dB
<i>splitter 1:4</i>	1 buah	7.71 dB
<i>Pathcord</i>	1 buah	0.4 dB
SEGMENT B		
fiber optik <i>singlemode loss tube cable G.652.D</i>	1 km	0.35 dB
Konektor	2 buah	0.5 dB
<i>Splices</i>	2 buah	0.61 dB
<i>Splitter 1:8</i>	1 buah	10.66 dB
SEGMENT C		
<i>Dropcore G.652.D</i>	1 buah	2.69 dB
Konektor	1 buah	0.25 dB
<i>Splices</i>	1 buah	0.4 dB
SEGMENT D		
<i>Pathcord</i>	1 buah	0.4 dB

4.3 Analisis Optical Power Budget

Dalam melakukan analisis *Optical Power Budget*, memerlukan data *loss* yang ditimbulkan oleh beberapa komponen pasif yang berada disetiap segmen. Untuk pengambilan data *loss* dapat dengan cara melakukan pengukuran daya disetiap segmen dengan menggunakan alat ukur *Optical Power Meter* (OPM). Untuk hasil data *loss* dari beberapa komponen pasif seperti fiber optik, *splices*, *splitter 1:4* dan *splitter 1:8* serta *loss* dari *pathcord*

dan juga *dropcore* untuk masing-masing jalur transmisi dapat dilihat pada tabel 4.3 untuk jalur transmisi dari STO kebalen–Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11, tabel 4.4 untuk jalur transmisi dari STO kebalen–Siwalankerto 8/AB-11 dan tabel 4.5 untuk jalur transmisi STO kebalen-Brebek Industri 7/04 .

4.3.1 Analisis *Power Budget* Terhadap Desain FTTH

Dalam desain yang digunakan oleh PT.Telkom sesuai dengan data-data *loss* standard dari beberapa komponen pasif yang akan digunakan dalam lapangan seperti yang tercantum dalam tabel 4.2 dengan menggunakan *safety margin* 6 dB , maka untuk jarak maksimum transmisi yang mampu dicapai oleh fiber optik adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{P_T - P_R - \left((N_c \times a_c) + (N_s \times a_s) + a_{sp(1:4)} + a_{sp(1:8)} + a_{pc} + a_{dc} + Ms \right)}{a_f}$$

$$L = \frac{3 - (-32) - (0.25 + 0.1 + 17.63 + 0.15 + 0.35 + 6)}{0.35}$$

$$L = \frac{10.52}{0.35}$$

$$L = 30.0Km$$

Dari hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa desain yang telah di buat oleh PT.Telkom dengan menggunakan beberapa komponen pasif dengan *loss* yang sesuai dengan standard yang telah ditetapkan, dapat mencapai jarak maksimum transmisi fiber optik sejauh 30 km . Desain yang telah di rancang ini, apabila di implementasikan di lapangan maka jarak maksimum transmisi yang di tempuh oleh fiber optik untuk menuju ke rumah pelanggan tidak boleh lebih dari sama dengan 30 km. Oleh karena itu untuk analisis perhitungan *Optical Power Budget* akan dilakukan pada jalur transmisi STO kebalen - Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11 dengan jarak 12,5 km , jalur transmisi STO kebalen -siwalankerto 8/AB-11 dengan jarak

14,1 km , dan pada jalur transmisi STO kebalen - Brebek Industri 7/04 dengan jarak 17,5 km .

4.3.2 Analisis Power Budget Terhadap Pelanggan 01

Untuk hasil perhitungan dengan menggunakan analisis *Optical Power Budget* terhadap pelanggan 01 yang berada di jalur transmisi STO kebalen - Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11 dengan radius 12,5 km. Dengan menggunakan *safety margin* 6 dB , maka didapatkan hasil jarak maksimum transmisi yang mampu dicapai adalah sebagai berikut:

$$L = \frac{P_T - P_R - ((N_c \times a_c) + (N_s \times a_s) + a_{sp(1:4)} + a_{sp(1:8)} + a_{pc} + a_{dc} + Ms)}{a_f}$$

$$L = \frac{3 - (-32) - (1.25 + 1.2 + 18.61 + 0.8 + 2.12 + 6)}{0.35}$$

$$L = \frac{5.02}{0.35}$$

$$L = 14.3Km$$

Dari hasil jarak transmisi yang dihasilkan melalui perhitungan tersebut, untuk jalur transmisi STO kebalen - Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11 di dapatkan hasil nilai jarak maksimum transmisi yang mampu di capai oleh fiber optik adalah sejauh 14.3 km . Dari hasil tersebut dapat di simpulkan bahwa performansi jaringan untuk jalur transmisi STO kebalen – Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11 tergolong masih bagus karena jarak maksimum fiber optik yang ditempuh dapat mencapai jarak yang di inginkan yaitu 12,5 km .

4.3.3 Analisis Power Budget Terhadap Pelanggan 02

Untuk hasil perhitungan dengan menggunakan analisis *Optical Power Budget* terhadap pelanggan 02 yang berada di jalur transmisi STO kebalen – Siwalankerto 8 AB/11 dengan radius 14,1 km. Dengan menggunakan *safety margin* 6 dB , maka

didapatkan hasil jarak transmisi yang mampu dicapai adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{P_T - P_R - ((N_c \times a_c) + (N_s \times a_s) + a_{sp(1:4)} + a_{sp(1:8)} + a_{pc} + a_{dc} + Ms)}{a_f}$$

$$L = \frac{3 - (-32) - (1.3 + 1.25 + 18.83 + 0.8 + 2.02 + 6)}{0.35}$$

$$L = \frac{4.8}{0.35}$$

$$L = 13.7 \text{ Km}$$

Dari hasil jarak transmisi yang dihasilkan melalui perhitungan tersebut, untuk pelanggan 02 yang berada di jalur transmisi STO kebalen - siwalankerto 8/AB-11 didapatkan nilai jarak maksimum transmisi fiber optik sejauh 13.7 km. Dari hasil tersebut dapat di simpulkan bahwa performansi jaringan untuk jalur transmisi STO kebalen – siwalankerto 8/AB-11 tergolong masih kurang bagus karena jarak maksimum transmisi fiber optik yang dapat ditempuh tidak dapat mencapai jarak yang di inginkan yaitu 14,1 km

4.3.4 Analisis Power Budget Terhadap Pelanggan 03

Untuk hasil perhitungan dengan menggunakan analisis *Optical Power Budget* terhadap pelanggan 03 yang berada di jalur transmi STO Kebalen - Brebek Industri 7/04. Jalur transmisi tersebut memiliki radius 17,5 km. Maka, dengan menggunakan *safety margin* sebesar 6 dB, didapatkan hasil jarak transmisi yang mampu dicapai oleh fiber optik adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{P_T - P_R - ((N_c \times a_c) + (N_s \times a_s) + a_{sp(1:4)} + a_{sp(1:8)} + a_{pc} + a_{dc} + Ms)}{a_f}$$

$$L = \frac{3 - (-32) - (1.25 + 1.4 + 18.4 + 0.8 + 3.1 + 6)}{0.35}$$

$$L = \frac{4.05}{0.35}$$

$$L = 11.57 \text{ Km}$$

Dari hasil jarak transmisi yang dihasilkan melalui perhitungan tersebut, untuk pelanggan 03 yang berada di jalur transmisi STO Kebalen - Brebek Industri 7/04 didapatkan nilai jarak maksimum transmisi fiber optik yang dapat ditempuh yaitu sejauh 11,57 km . Dari hasil tersebut juga dapat di simpulkan bahwa performansi jaringan untuk jalur transmisi STO kebalen – brebek industri 7/04 tergolong masih kurang bagus karena jarak maksimum transmisi fiber optik yang dapat ditempuh tidak dapat mencapai jarak yang di inginkan yaitu 17,5 km.

4.4 Analisis Perhitungan *Rise-time Budget*

Telah dilakukan analisis melalui perhitungan *Rise-time Budget* terhadap jalur transmisi dari masing-masing pelanggan. Dalam melakukan perhitungan tersebut, maka dibutuhkan data-data yang berkaitan dengan persamaan *Rise-time Budget* sesuai dengan persamaan 10, yang dimana pada persamaan tersebut terdiri tiga parameter yaitu nilai *rise-time* dari *transmitter*, nilai *rise-time* dari fiber optik, dan juga nilai *rise-time* dari *receiver*. Data yang berkaitan dengan ketiga parameter tersebut, didapatkan melalui spesifikasi perangkat yang di gunakan pada sistem. Berikut merupakan data spesifikasi perangkat yang digunakan pada sistem :

Tabel 4.6 Spesifikasi Perangkat Sistem

NO	Komponen	Nilai
1	<i>Wavelength</i>	1310 nm
2	<i>Rise-time Transmitter</i>	140 ps
3	<i>Rise-time Receiver</i>	45 ps
4	Lebar Spektral	2.75 nm
5	Dispersi Kromatis	3.5 ps/nm.km

Dari data spesifikasi perangkat yang digunakan pada sistem dengan menggunakan fiber optik *singlemode*, maka untuk *rise-time* pada fiber optik hanya dipengaruhi oleh dispersi kromatis yang terjadi pada fiber optik tersebut. Untuk mendapatkan nilai *rise-time* dari fiber optik dapat dengan menggunakan persamaan 11, sehingga dapat dilakukan perhitungan *rise-time budget* pada sistem secara keseluruhan untuk setiap jalur transmisi dengan menggunakan persamaan 10. Dari hasil perhitungan, telah didapatkan nilai *rise-time* sistem untuk ketiga jalur transmisi seperti yang tercantum didalam tabel berikut ini :

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai *Rise-time*

Jalur Transmisi	<i>Rise-time</i> Fiber Optik	<i>Rise-time</i> Sistem
STO Kebalen - Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11	0,014 ns	0,18 ns
STO Kebalen -Siwalankerto 8 AB/11	0,018 ns	0,19 ns
STO Kebalen - Brebek Industri 7/04	0,027 ns	0,22 ns

4.5 Pembahasan

Setelah melakukan analisis *Optical Power Budget* dan *Rise-time Budget*, maka selanjutnya dapat dilakukan pembahasan terkait dengan analisis yang telah didapatkan sebagai berikut :

4.5.1 Pembahasan Terkait Analisis *Power Budget*

Untuk jalur transmisi pada pelanggan 02 dan pelanggan 03 yang belum memenuhi persyaratan desain dan menyebabkan performansi jaringannya masih belum dapat memuaskan, dikarenakan faktor redaman di kedua jalur transmisi yang terlalu besar sehingga dapat mempengaruhi hasil dari jarak maksimum transmisi fiber optik yang dapat dicapai. Pada jalur transmisi STO kebalen - Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11 didapatkan hasil *loss* yang diakibatkan karena adanya *splices* dengan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,24 dB. Untuk hasil *loss* yang diakibatkan oleh komponen *splitter* 1:4 didapatkan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,59 dB dan hasil *loss* yang diakibatkan karena adanya komponen *splitter* 1:8 di dapatkan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,39 dB. Dari hasil tersebut masih dapat di katakan aman, dikarenakan performasi jaringan pada jalur transmisi tersebut masi tergolong bagus.

Namun untuk hasil di jalur STO kebalen - siwalankerto 8/AB-11 di dapatkan hasil *loss* yang diakibatkan karena adanya *splices* dengan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,26 dB. Untuk hasil *loss* yang diakibatkan oleh komponen *splitter* 1:4 didapatkan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,71 dB dan hasil *loss* yang diakibatkan karena adanya komponen *splitter* 1:8 di dapatkan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,49 dB. Hasil rata-rata *loss* tersebut tidak aman karena menyebabkan jarak maksimum transmisi dari fiber optik tidak dapat mencapai jarak transmisi yang di inginkan sehingga sangat berpengaruh terhadap performasi jaringan yang tergolong masih kurang bagus dan perlu adanya perbaikan .

Untuk jalur transmisi STO Kebalen - Brebek Industri 7/04 di dapatkan hasil *loss* yang diakibatkan karena adanya *splices* dengan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,28 dB. Untuk hasil *loss* yang diakibatkan oleh adanya komponen *splitter* 1:4 didapatkan nilai

rata-rata *loss* sebesar 0,47 dB dan hasil *loss* yang diakibatkan karena adanya komponen *splitter* 1:8 di dapatkan nilai rata-rata *loss* sebesar 0,3 dB. Hasil rata-rata *loss* tersebut juga tergolong tidak aman dikarenakan jarak maksimum transmisi dari fiber optik tidak dapat mencapai jarak transmisi yang di inginkan, sehingga sangat berpengaruh terhadap performansi jaringan yang tergolong kurang bagus dan harus diperbaiki .

Salah satu faktor *loss* yang mempengaruhi performansi jaringan adalah karena adanya faktor *splices* . *Splices* merupakan suatu teknik yang menghubungkan dua buah fiber optik *core to core* agar cahaya optik yang dibawa dapat digabungkan dalam satu fiber optik . Maka pada saat melakukan *splices* terhadap fiber optik dapat menyebabkan terjadinya *mechanical misalignment* . Terdapat tiga jenis *mechanical misalignment*, yaitu untuk tipe *axial displacement* atau biasa yang disebut dengan *lateral displacement* terjadi ketika kedua titik pusat fiber optik bergeser sejauh jarak tertentu (d) . Untuk tipe *longitudinal separation* terjadi akibat adanya celah (*gap*) diantara kedua fiber optik. Untuk tipe *angular misalignment* terjadi akibat adanya sudut yang terbentuk diantara kedua serat. Ketiga tipe dari *mechanical misalignment* tersebut dapat menimbulkan *loss* ketika melakukan *splices* pada fiber optik .

Selain karena faktor *mechanical misalignment*, dalam melakukan *splices* yang harus di perhatikan adalah permukaan akhir fiber optik yang dihubungkan harus bersih dan rata . Dalam melakukan pembersihan pada ujung fiber optik harus dengan menggunakan alkohol . Hal ini dikarenakan alkohol lebih cepat menguap dibandingkan dengan menggunakan air. Apabila menggunakan air dalam pembersihanya, akan dapat menyebabkan pembiasan cahaya optik dikarenakan cahaya berinteraksi dengan butiran-butiran air yang masih tersisa di bagian permukaan ujung fiber optik. Pembersihan pada ujung fiber optik dengan menggunakan alkohol bertujuan untuk menghilangkan debu atau kotoran yang dapat menyebabkan cahaya terbiaskan sehingga mengakibatkan *loss* . Oleh karena itu, untuk memperbaiki sistem desain pada jaringan yang memiliki performansi masih kurang

bagus, dapat dengan melakukan program *maintenance* pada titik sambung atau *splices* dibagian ODF , ODC dan juga dibagian ODP . *Maintenance* tersebut dilakukan karena faktor *splices* memiliki persentase *loss* yang sangat besar. Selain itu juga dapat dilakukan dengan penggantian dari kabel *feeder*, kabel distribusi, kabel *dropcore* dan juga *pathcord* apabila redaman pada sistem tersebut masih terlalu tinggi .

4.4.2 Pembahasan Terkait Analisis *Rise-time Budget*

Rise-time merupakan waktu respon sistem yang diperlukan untuk menuju sinyal masukan mulai dari 10–90% . Maka untuk kecepatan data transmisi sistem digital komunikasi fiber optik di batasi oleh *rise-time* dari sistem tersebut. Pada desain sistem komunikasi digital yang ditetapkan PT.Telkom, menggunakan komponen fiber optik *singlemode* dengan jenis G.652.D yang memiliki dispersi kromatis sebesar 3.5 ps/nm.km . Selain itu pengkodean yang digunakan adalah pengkodean *Non-Return-to-Zero* (NRZ) dengan kecepatan data transmisi sistem digital komunikasi yang tinggi yaitu sebesar 1 Gbps . Dengan kecepatan data transmisi sistem sebesar 1 Gbps, memiliki arti bahwa untuk setiap bit akan memerlukan waktu 10^{-9} s.

Rise-time dari suatu sistem juga dipengaruhi oleh adanya dispersi yang terjadi pada fiber optik. Dengan menggunakan fiber optik *singlemode*, maka dispersi yang terjadi dalam fiber optik tersebut adalah dispersi kromatis. Dispersi ini merupakan pelebaran pulsa yang akan menyebabkan terjadinya pergeseran panjang gelombang sehingga akan berpengaruh terhadap *bandwidth* dari sistem. Dengan nilai dispersi kromatis yang relatif kecil, akan memungkinkan untuk mentransmisikan data dengan *bandwidth* yang besar. Selain itu dispersi ini juga berpengaruh terhadap *rise-time* sistem. Makin besar nilai dispersi kromatis yang terjadi pada fiber optik, maka akan mengakibatkan nilai dari *rise-time* akan semakin besar. Sehingga ada persyaratan untuk nilai *rise-time* yang harus dipenuhi oleh system agar dapat mentransmisikan data sebesar 1Gbps, yaitu batas nilai *rise-time* dari suatu sistem dengan kecepatan

data transmisi yang tinggi tidak boleh lebih dari 70% dari *time-period* ($t_s < 0,7 \times 10^{-9}$).

Hal ini bertujuan untuk memperkecil terjadinya peristiwa distorsi yang akan dapat menyebabkan data itu *loss*. Berdasarkan dari hasil perhitungan, untuk nilai *rise-time* untuk ketiga jalur transmisi yaitu STO kebalen- Jagir Wonokromo 100 Mangga 2 A8/11, STO kebalen-siwalankeerto 8/AB-11, dan STO kebalen-Brebek Industri 7/04 memiliki nilai *rise-time* rata-rata sebesar 0,19 ns. Hasil dari nilai *rise-time* pada sistem desain komunikasi digital untuk ketiga jalur transmisi tersebut memiliki nilai *rise-time* kurang dari 70% dari *time-period* sehingga telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan :

$$0,19 \times 10^{-9} < 0,7 \times 10^{-9}$$

Dengan nilai *rise-time* sebesar 0,1 ns, maka dapat disimpulkan bahwa desain sistem komunikasi digital yang ditetapkan oleh PT.Telkom untuk ketiga jalur transmisi tersebut telah memenuhi kriteria persyaratan yang telah ditentukan. Dengan nilai *rise-time* tersebut, maka sistem dapat mencapai kapasitas bandwith hingga mencapai 7 Gbps sehingga telah memenuhi spesifikasi jaringan FTTH yang membutuhkan laju data dengan nilai sebesar 1 Gbps.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan serta meninjau kembali permasalahan, batasan masalah, dan tujuan dari tugas akhir ini maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Telah dapat dilakukan analisis *optical power budget* dan *rise-time budget* pada jaringan *Fiber to The Home* (FTTH) berbasis *Passive Optical Network* (PON)
2. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *optical power budget* sesuai dengan desain elemen dan network FTTH yang digunakan oleh PT.Telkom, diperoleh :
 - Pelanggan 01 yang berada di jalur transmisi STO Kebalen-JagirWonokromo 100 Mangga 2 A8/11 memiliki performansi jaringan yang bagus dengan jarak maksimum transmisi fiber optik sejauh 14.3 km sehingga mampu mencapai jarak rumah pelanggan dengan jarak 12.5 km.
 - Pelanggan 02 yang berada di jalur transmisi STO Kebalen-Siwalankerto 8/AB-11 memiliki performansi jaringan yang kurang bagus dengan jarak maksimum transmisi fiber optik sejauh 13.7 km sehingga tidak mampu mencapai jarak rumah pelanggan dengan jarak 14.1 km.
 - Pelanggan 03 yang berada di jalur transmisi STO Kebalen-Brebek Industri 7/04 memiliki performansi jaringan yang kurang bagus dengan jarak maksimum transmisi fiber optik sejauh 11.57 km sehingga mampu mencapai jarak rumah pelanggan dengan jarak 17.5 km.
3. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *Rise-time Budget*, untuk nilai *rise-time* sistem dari masing-masing pelanggan memiliki nilai *rise-time* sistem sebesar 0,1 ns sehingga telah memenuhi kriteria persyaratan dan mampu mencapai kapasitas bandwith hingga mencapai 7 Gbps.

5.2 Saran

Pada penelitian tugas akhir ini, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Apabila hasil perhitungan jarak maksimum transmisi kurang dari jarak realita, maka dapat dilakukan program *maintenance* untuk titik sambung dibagian *Optical Distribution Frame*, *Optical Distribution Cabinet* dan *Optical Distribution Point* .
2. Apabila redamannya terlalu tinggi, maka dapat dilakukan penggantian kabel feeder, distribusi, *dropcore* dan *pathcord*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ab-Rahman, M. S. (2011). Cost installation analysis of FTTH test bed network set-up previous, present and future. *Applied Science Research*, 7(11), 1627-1632.
- Agrawal, G. (2002). *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Deeksha, K. (2013). 50 km bidirectional FTTH transmission comparing different PON standards. *Optic (124)*, 5075-5078.
- Dermawan, B., Santoso, I., & Prakoso, T. (2016). Analisis Jaringan FTTH (Fiber To The Home) Berteknologi GPON (Gigabit Passive Optical Network). *Transmisi*, 18(1), 30-37.
- Djordjevic, I., Ryan, W., & Vasic, B. (2010). Fundamentals of Optical Communication. Dalam *Coding for Optical Channels* (hal. 25-73). Springer.
- Fang, Z., Chin, K., Qu, R., & Cai, H. (2012). *Fundamentals of Optical Fiber Sensors, First Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Gillani, S., Khan, M., & Shahid, M. K. (2015). Reach Extendibility of Passive Optical Network Technologies. *Optical Switching and Networking*, 211-221.
- Hantoro, & Karyada. (2015). *Fiber Optik : Teknologi, Material, Instalasi, dan Implementasi*. Bandung.
- Kao, P. (2009). *Fibe Optic, Fundamental of Photonics*. New York: Jhon Wiley & Sons, Incoorporation.
- Keiser, G. (2003). *Optical Communication Essentials*. New York: McGraw-Hill.
- Keiser, G. (2010). *Optical Fiber Communications, 4th edition*. Singapore: McGraw-Hill International Edition.

- Maharani, A., & Kusumawardani, A. (2009). Pengukuran pengaruh kelengkungan serat optik terhadap rugi daya menggunakan optical time domain reflectometer.
- Malholtra, J. S. (2014). Low cost solution to high capacity 32x32 channel FTTH duplex link employing triple play services. *Optik (125)*, 93-96.
- Massa, N. (2000). Fiber Optic Telecommunication. Dalam *SPIE Fundamental of Photonics* (hal. 293-374). Society of Photooptical Instrumentation Engineers.
- Ng, B., Ab-Rahman, M., Premadi, A., & Jumari, K. (2010). Optical Power Budget and Cost Analysis in PON-Based i-FTTH. *Research Journal of Information Technology*, 2(3), 127-138.
- Skubic. (2009). A comparison of dynamic bandwidth allocation for EPON, GPON and next generation TDM PON. *IEEE commun magazine*, 40-48.
- Zanger, H., & Zanger, C. (1991). *Fiber Optics : Communication and Other Applications*. Singapore: Maxwell Macmillan.

LAMPIRAN A DATA PENELITIAN

A.1 Data Hasil Perhitungan *Rise-time Budget*

Berikut merupakan data hasil perhitungan *Rise-time Budget* untuk masing-masing pelanggan :

A.1.1 Pelanggan 01

- *Rise-time* fiber optik :

$$t_f = t_{GVD}^2$$

$$t_f = D^2 \times \sigma_\lambda^2 \times L^2$$

$$t_f = (3.5 \times 10^{-3} \text{ ns / nm.km})^2 \times 2.75^2 \text{ nm} \times (12.5 \text{ km})^2$$

$$t_f = 0.014 \text{ ns}$$

- *Rise-time* sistem :

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_f^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sys} = \sqrt{(140 \times 10^{-3})^2 + 0.014 + (45 \times 10^{-3})^2}$$

$$t_{sys} = 0.18 \text{ ns}$$

A.1.2 Pelanggan 02

- *Rise-time* fiber optik

$$t_f = t_{GVD}^2$$

$$t_f = D^2 \times \sigma_\lambda^2 \times L^2$$

$$t_f = (3.5 \times 10^{-3} \text{ ns / nm.km})^2 \times 2.75^2 \text{ nm} \times (14.1 \text{ km})^2$$

$$t_f = 0.018 \text{ ns}$$

- *Rise-time* Sistem

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_f^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sys} = \sqrt{(140 \times 10^{-3})^2 + 0.018 + (45 \times 10^{-3})^2}$$

$$t_{sys} = 0.19ns$$

A.1.3 Pelanggan 03

- *Rise-time* fiber optik

$$t_f = t_{GVD}^2$$

$$t_f = D^2 \times \sigma_\lambda^2 \times L^2$$

$$t_f = (3.5 \times 10^{-3} ns / nm.km)^2 \times 2.75^2 nm \times (17.1km)^2$$

$$t_f = 0.027ns$$

- *Rise-time* sistem

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_f^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sys} = \sqrt{(140 \times 10^{-3})^2 + 0.027 + (45 \times 10^{-3})^2}$$

$$t_{sys} = 0.22ns$$

LAMPIRAN B DATA SAMPLING

B.1 Data Hasil Sampling

Berikut merupakan data hasil sampling untuk masing-masing pelanggan :

Tabel B.1.1 Data Sampling Pada Pelanggan 01

KOMPONEN	Data Pengambilan ke -			Rata-rata	Standard Deviasi
	I	II	III		
SEGMENT A					
Konektor	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Splices	0,4	0,42	0,41	0,41	0,01
Splitter 1:4	7,84	7,8	7,83	7,82	0,02
Pathcore	0,4	0,43	0,41	0,41	0,02
SEGMENT B					
Konektor	0,5	0,5	0,5	0,5	0
SPlices	0,5	0,53	0,51	0,51	0,02
Splitter 1:8	10,77	10,79	10,8	10,79	0,02
SEGMENT C					
Dropcore	2,12	2,15	2,11	2,13	0,02
Konektor	0,25	0,25	0,25	0,25	0
Splices	0,3	0,32	0,31	0,31	0,01
SEGMENT D					
Pathcore	0,4	0,42	0,41	0,41	0,01

Tabel B.1.2 Data Sampling Pada Pelanggan 02

KOMPONEN	Data Pengambilan ke -			Rata-rata	Standard Deviasi
	I	II	III		
SEGMENT A					
Konektor	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Splices	0,6	0,62	0,61	0,61	0,01
Splitter 1:4	7,96	7,94	7,97	7,96	0,02
Pathcore	0,4	0,41	0,4	0,40	0,01
SEGMENT B					
Konektor	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Splices	0,3	0,33	0,31	0,31	0,02
Splitter 1:8	10,87	10,8	10,84	10,84	0,04
SEGMENT C					
Dropcore	2,02	2,05	2,06	2,04	0,02
Konektor	0,25	0,25	0,25	0,25	0
Splices	0,4	0,42	0,4	0,41	0,01
SEGMENT D					
Pathcore	0,4	0,41	0,41	0,41	0,01

Tabel B.1.3 Data Sampling Pada Pelanggan 03

KOMPONEN	Data Pengambilan ke -			Rata-rata	Standard Deviasi
	I	II	III		
SEGMENT A					
Konektor	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Splices	0,4	0,43	0,41	0,41	0,02
Splitter 1:4	7,72	7,7	7,71	7,71	0,01
Pathcore	0,4	0,41	0,4	0,40	0,01
SEGMENT B					
Konektor	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Splices	0,6	0,62	0,61	0,61	0,01
Splitter 1:8	10,68	10,64	10,66	10,66	0,02
SEGMENT C					
Dropcore	2,7	2,67	2,69	2,69	0,02
Konektor	0,25	0,25	0,25	0,25	0
Splices	0,4	0,39	0,41	0,40	0,01
SEGMENT D					
Pathcore	0,4	0,39	0,42	0,40	0,02

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D

SURAT IJIN PENGAMBILAN DATA

PT. TELEKOMUNIKASI INDONESIA, Tbk.
WILAYAH TELKOM SURABAYA
DIVISI TELKOM REGIONAL V JAWA BALI NUSRA



Nomor : Tel. 303/SIMARU/SBY/2017
Kepada : Sdr. FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI - ITS
Dari : MANAGER NETWORK AREA SURABAYA
Lampiran : 1 file(s)
Perihal : Surat Ijin Masuk dan Ijin Kerja untuk Pengambilan Data Tugas Akhir di STO Kebalen, dan Rungkut

1. Menunjuk dan Menindaklanjuti NDE MGR INFRA DESIGN AND ENGINEERING REGIONAL V Nomor C.Tel. 17/PS 000/DR5-12410000/2017, tanggal 23 Maret 2017 perihal Permohonan Bantuan Pengambilan Data Tugas Akhir (Terlampir).
2. Pada prinsipnya kami memberikan ijin masuk ke lokasi instalasi PT. TELKOM kepada petugas Saudara untuk melaksanakan pekerjaan dengan ketentuan sebagai berikut :
 - Lokasi : STO Kebalen dan STO Rungkut
 - Kegiatan : Pengambilan Data Tugas Akhir
 - Waktu : 27 Maret 2017 s.d 16 April 2017
 - Jam Kerja : 08:00 s/d 17:00 waktu setempat
 - Petugas : FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI - ITS
 - Sdr. RIMA FITRIA ADIATI, MIRZA RAHMANSYAH
3. Selanjutnya untuk pelaksanaan di lapangan agar diperhatikan hal-hal sebagai berikut :
 - Nama petugas yang melaksanakan pekerjaan harus sesuai dengan yang tertera dalam Nota ini, membawa bukti/surat perintah dari perusahaan yang bersangkutan dan mencatatkan identitas diri masing-masing di bagian satuan pengamanan/security/Petugas Site.
 - Foto Copy Identitas yang masih berlaku petugas, serta foto copy Surat Izin Masuk Ruang ini diserahkan di bagian satuan pengamanan/security/Petugas Site lokasi setempat.
 - Bahwa sesuai klausul standar IT Security Management System dan Business Continuity Management System, maka setiap personil Mitra terkait kegiatan tersebut di atas DIWAJIBKAN untuk mengisi dan menandatangani Non Disclosure Agreement bermaterai 6000 (form NDA terlampir) dan selanjutnya diserahkan kepada pihak Security di STO sebelum berkegiatan.
 - Bahwa setiap personil Mitra terkait kegiatan tersebut di atas DIWAJIBKAN untuk mengisi Log Book Tamu yang telah disediakan di RUANG PERANGKAT
 - Tidak menimbulkan gangguan terhadap operasional perangkat Existing dan apabila mengakibatkan gangguan pada perangkat Existing menjadi tanggung jawab Mitra, serta menjaga kebersihan, kerapian dan ketertiban di lokasi selama kegiatan berlangsung
 - Untuk pelaksanaan Integrasi perangkat harap dikoordinasikan dengan petugas Area Network setempat.
 - Kontak Person : ■ ACHMAD MUSLICH (WASPANG) / NIK : 640986 Telp : 0813-3209-2555
 - PIC Mitra : ■ RIMA FITRIA ADIATI (ITS) Telp : -
4. Demikian kami sampaikan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

SALAM, Solid, Speed and Smart

Surabaya, 27 Maret 2017
MANAGER NETWORK AREA SURABAYA

I DEWA K. SWASTIKA
NIK : 650658

Lamp-303 : Lampiran1. 20170323 ITS - Pengambilan Data Tugas Akhir Mahasiswa.pdf
Tembusan : 1. GM WITEL SURABAYA
2. MGR SAS SURABAYA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama penulis Mirza Rahmansyah dilahirkan di Surabaya, tanggal 11 Januari 1995 dari bapak yang bernama Taufiqurrahman dan ibu bernama Enik Rahmaniawati. Saat ini penulis tinggal di Jalan Panglima Sudirman No 69 RT 04 RW 01 Desa Sidokumpul, Gresik, Provinsi Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Muhammadiyah GKB Gresik pada tahun 2007, pendidikan di SMPN 1 Gresik pada tahun 2010, pendidikan di

SMAN 1 Gresik pada tahun 2013 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang.

Pada bulan Juli 2017 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***Analisis Optical Power Budget dan Rise-time Budget pada jaringan Fiber To The Home berbasis Passive Optical Network***. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : mirzacaca95@gmail.com.